

# 2024 年春季班地震概论整理

## 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 .....	6
第四章：地球内部的结构 .....	10
第五章 地震机制 .....	12
第六章 地震仪和地震的基本参数的测定 .....	19
第七章 地震预报 .....	20
第八章 宏观地震学 .....	21
第九章 勘探地震学 .....	24
第十章 海啸 .....	26
讨论课 .....	27

标黄的为可能出选择判断填空，标蓝的为可能出简答，红色为板书或老师重点强调内容，部分内容不做要求已标注出，可以辅助理解。

## 2.21 录播

# 第一章 地震学的研究范围和历史

## 第一节 什么是地震学

1、全球每年发生 500 万次地震，人们可以感觉到的仅占 1%，造成严重破坏的 7 级以上的大地震约有 18 次，8 级以上的特大地震 1~2 次。全世界有 6 亿多人生活在强震带上，上个世纪约有 200 万人死于地震，预计二十一世纪将有约 1500 万人死于地震。（人数增加，城市化）

2、20 世纪以来，我国发生了 800 多次 6 级以上的地震，平均每年约 8 次；历史记载全球死亡超过 20 万人的地震有 6 次，其中在中国就有 4 次。

3、地震学是关于地震的科学

4、地震学是一门应用物理学，“地震概论”是一门物理类课程，而不是地质类课程。

5、对社会发展的贡献——反恐（举例）：库尔斯克号沉没事件调查，9.11 事件调查（钢筋受热房屋倒塌）

## 第二节 地震学的研究范围和主要的研究方面

### 第三节 地震学的基本名词和概念（后面的课程详细解释，此处简单提及）

1、地震是地球内部介质（岩石）突然发生破坏，产生地震波，并在相当范围内引起地面震动的现象。

2、震源、震中、震源深度、震中距离如右图；

3、发震时刻：发生地震的时刻；

4、地震波：发生于震源并在地球表面和内部传播的弹性波称为地震波。

5、烈度：按一定的宏观标准，表示地震对地面影响和破坏程序的一种量度。按烈度值的大小排列成表，称为烈度表。将地面上等烈度的点联成线，称为等震线。

6、震级：按一定的微观标准，表示地震能量大小的一种量度。用字母 M 表示。

7、地震序列：成丛发生的地震称地震序列，按时间顺序和震级分布分为：

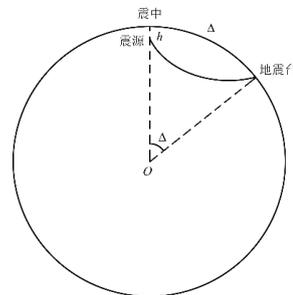
(1) 主震型：通常包括主震和大量的余震。若特别大的地震只有一次，则称之为主震；发生在主震之前的中、小地震叫前震；发生在主震之后的大量较小地震叫余震。

(2) 震群型：在一个地震序列中包含着若干个震级相差不多的地震，而无一特大震级的地震时，称之为震群。

8、天然地震的分类

(1) 按成因分：构造地震，火山地震，陷落地震。

(2) 按震源深度分：浅源地震/正常深度地震（多数），中源地震，深源地震（60km、300km 为界）。已记录到的最深地震的震源深度约 700 公里。（700 公里以外认为没有地震：软，不容易断裂）。有时也将中源地震和深源地震统称为深震。



(3) 按震中距分：地方震，近震，远震（100km, 1000km 为界）

(4) 按震级分（强调）：1) 弱震： $M < 3$  的地震。2) 有感地震： $3 \leq M < 4.5$  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。

#### 第四节 古代人类对地震的认识

- 1、我国古代**鳌鱼翻身**的传说。
- 2、日本的“**地震鲶**”传说：地球靠一大鲶鱼支撑着，鲶鱼尾巴一甩就地震。
- 3、古希腊的“**气动说**”
- 4、里斯本大地震后，欧洲的地震研究开始从神学的统治下解放。

### 2.28 录播

#### 第五节 地震学发展简史

1、地震学真正成为科学走向历史舞台只有**一百年**的历程，**标志是地震仪的出现并广泛使用**，是一个定性到定量的研究过程。

2、地震学用途：对大地构造学说的确立做出了重要贡献（证明了地球构造）

3、我国地震学的发展：

**导火索：1966年邢台大地震；导致了1971年中国地震局（国家地震局）的成立。**

## 第二章：地震波

### 第一节 波的性质简述

1、机械波

2、横波和纵波

横波：质点的振动方向和波（能量）的传播方向**垂直**。有波峰和波谷。

纵波：质点的振动方向和波（能量）的传播方向**平行**。有波密和波疏。

在**固体**中可以传播**横波和纵波**，在**液体、气体**（无剪切应力）中只能传播**纵波**。

我们看到的波通常是不同频率的混合。优势频率起主要作用，能量占大多数。可以用波前描述波的传播。在**高频近似**的情况下，用波线描述波的传播（**射线理论**）。但光的干涉、散射和衍射，光线的概念不再适用。

### 第二节 地震波

概念：由地震震源发出在地球内部传播的波。

#### 一、弹性介质及弹性常量（了解）

1、弹性介质

地球介质近似认为均匀和连续。对于**天然地震和人工爆破**，介质通常可视为**完全弹性体**，这是一种**合理的近似**。在各向同性的介质中，地震波沿着不同方向传播**速度相同**。

地球的介质性质：研究地震波的传播认为是弹性的；研究地震瞬间认为是脆性的；研究板块对流认为是塑性的。

2、弹性常量（了解每个常量的含义，公式不用记）

(1) 杨氏模量 (E)

$$\frac{F}{S} = E \frac{\Delta L}{L}$$

$\Delta L$ 是纵向应力引起的长度变化

(2) 泊松比 ( $\nu$ )

$$\nu = -\frac{\Delta d/d}{\Delta L/L}$$

横向线度的相对变化率  $\Delta d/d$  与纵向长度的相对变化率  $\Delta L/L$  之比为常数,即为泊松比。  
式子中的负号表示  $\Delta d$  与  $\Delta L$  变化方向相反

对于一切介质,泊松比介于 0 到 1/2,金属介于 1/4 到 1/3 之间。地球介质常取 1/4 表示地幔的大部分,对于地球外核(液态)取 1/2。

(3) 体变模量 (K)

应力和体积变化的常数:

$$\frac{F}{S} = -K \frac{\Delta V}{V}$$

负号:挤压体积变小,看成负的

(4) 切变模量 ( $\mu$ )

应力与应变的比值成为切变模量

$$\mu = \frac{F/S}{\varphi}$$

$\varphi$  是切变情况下的偏转角度,  $\mu$  为切变模量,或叫刚性系数。表征硬度。

E、K、 $\mu$ 、 $\nu$ 这四个常数不是相互独立的,只有两个是独立的,自由度  $f=3$ 。

## 二、波动方程 (不做要求)

以下为重点:

对波动方程求散度——纵波:  $V_p = \sqrt{\frac{\lambda+2\mu}{\rho}} = \sqrt{E/\rho}$

对波动方程求旋度——横波:  $V_s = \sqrt{\mu/\rho}$

纵波速度比横波大,一般  $V_p \approx \sqrt{3}V_s$ ,因此在地震记录上纵波首先到达,地震先上下颠,然后左右晃。纵波也称为 P 波 (Primary wave),横波也称为 S 波 (Secondary wave)。

## 第三节 地震波的类型

体波:地球内部传播

面波:地球表面传播

自由震荡:把整个地球震起来

### 一、体波

三维应变：分为体变和切变

体变：对应 P 波

切变：对应 S 波

S 波可以分解为两个分量，平行于界面的位移分量为 SH 波，S 波在入射线和界面发现构成的平面上（入射面）的位移分量为 SV 波。（不做要求）

重点：（不理解可以背下来）

P 波和 S 波的主要差异（重点强调且往年简答题）：

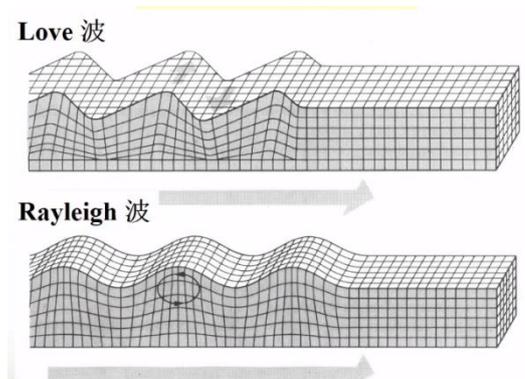
- (1) P 波的传播速度比 S 波快，地震图上先出现 P 波。
- (2) P 波和 S 波的质点振动(偏振)方向相互垂直。
- (3) 一般情况下，三分量地震图上 P 波的垂直分量相对较强，S 波的水平分量相对较强。
- (4) S 波的低频成分比 P 波丰富。
- (5) 天然地震的震源破裂通常剪切破裂和剪切错动为主，震源向外辐射的 S 波的能量比 P 波的强。
- (6) P 波通过时，质元无转动运动，而有体积变化，P 波是一种无旋波。S 波通过时，质元有转动，而无体积变化，S 波一种无散的等容波。

## 二、面波

面波的性质：能量分布；频散特征

测量出频散曲线可以反演地球结构

面波分为：Love 波和 Rayleigh 波



Love 波是 SH 波，水平方向振动；Rayleigh 是个逆行的椭圆。

面波的性质：

- (1) 面波是指沿地球表面传播的，在与界面垂直的方向上，波动的振幅急剧衰减，在地震记录上，面波的振幅一般比体波大。
- (2) 面波在表面传播，圣保罗大教堂“耳语长廊”和中国天坛回音壁的墙面上捕获的声波就是面波。
- (3) 周期越大的面波，渗透深度越大。
- (4) 半无限的均匀介质中，不产生勒夫波，而且所产生的瑞利波没有频散。地震记录中出现勒夫波以及有频散的瑞利波，说明地下的介质是不均匀或是成层的。

### 三、地球自由震荡

本质是相同频率的波形成柱波

分为：环形振荡和球形震荡。环形振荡只有水平方向没有垂直方向。

地球自由震荡周期很长，45min（数十秒或数十分钟）可能为一个自由震荡的周期

影响因素：自转；横向非均匀性。

### 第四节 地震波的波序

P波、S波、勒夫面波、瑞利面波、地震尾波

### 3.6 录播

## 第三章：地震波传播理论

### 第一节 地震波传播的基本概念

#### 一、地球介质和弹性波

地球介质≈各向同性的完全弹性体

#### 二、首波/侧面波



临界入射角/出射角

超过一定的临界震中距时，首波比直达波率先到达台站

#### 三、地震波的吸收和衰减

地震波能量随时间/空间指数衰减

#### 四、震中距

震源在地表的垂直投影是震中，震中到观测台站的距离是震中距（单位：km）

另一个单位是度（震中-地球球心连线与观测台站-地球球心连线的夹角）

震中距（度）=（震中距（km）\*180）/（地球半径\*pi）

1度≈110km

### 第二节 地震波传播的基本理论

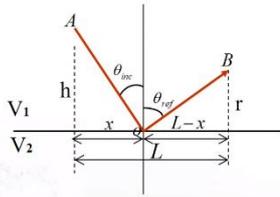
#### 一、射线理论

费马原理：地震波在介质中传播的路径为走时最小的路径

Fermat 定理是地震波的高频近似（地震波的特征波长远小于所研究问题的特征尺度）解

地震能量束  $d$  与  $f$  成反比， $f \rightarrow +\infty$  时，能量束成为“线”

## Fermat原理 $\Rightarrow$ Snell定律 (1)



射线AOB的走时为:

$$t(x) = \frac{1}{V_1} \left\{ \sqrt{h^2 + x^2} + \sqrt{r^2 + (L-x)^2} \right\}$$

Fermat原理  $\Rightarrow$

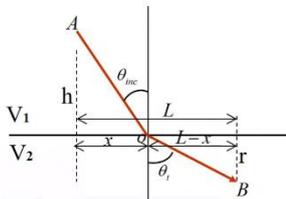
反射点  $x$  应使  $t$  达到最小值。即:

$$0 = \frac{dt(x)}{dx} = \frac{1}{V_1} \left\{ \frac{x}{\sqrt{h^2 + x^2}} - \frac{(L-x)}{\sqrt{r^2 + (L-x)^2}} \right\}$$

$$\Rightarrow \frac{x}{\sqrt{h^2 + x^2}} = \frac{(L-x)}{\sqrt{r^2 + (L-x)^2}}$$

$$\Rightarrow \sin(\theta_{inc}) = \sin(\theta_{ref})$$

## Fermat原理 $\Rightarrow$ Snell定律 (2)



射线AOB的走时为:

$$t(x) = \frac{1}{V_1} \sqrt{h^2 + x^2} + \frac{1}{V_2} \sqrt{r^2 + (L-x)^2}$$

Fermat原理  $\Rightarrow$

反射点  $x$  应使  $t$  达到最小值。即:

$$0 = \frac{dt(x)}{dx} = \frac{1}{V_1} \frac{x}{\sqrt{h^2 + x^2}} - \frac{1}{V_2} \frac{(L-x)}{\sqrt{r^2 + (L-x)^2}}$$

$$\Rightarrow \frac{1}{V_1} \frac{x}{\sqrt{h^2 + x^2}} = \frac{1}{V_2} \frac{(L-x)}{\sqrt{r^2 + (L-x)^2}}$$

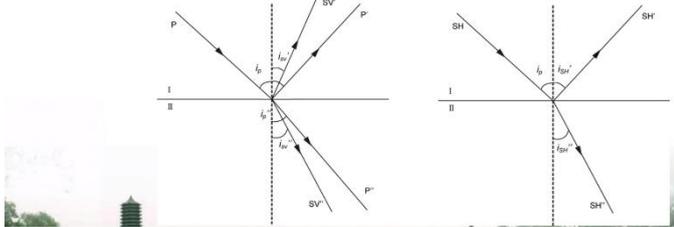
$$\Rightarrow \frac{\sin(\theta_{inc})}{V_1} = \frac{\sin(\theta_t)}{V_2}$$

### 二、地球介质的变化特征

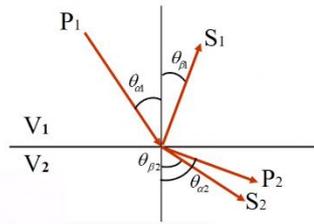
### 三、地震波的折射、反射和转换

射线参数  $P = \sin(\theta)/v$ , 是射线传播过程中的不变量

对于近震而言,地球的分层界面可以视为水平的。P波入射时,界面上会产生反射P波、折射P波,反射转换SV波和折射转换SV波,SV波入射时与P波类似;SH波入射时只有反射SH波和折射SH波产生,没有转换波出现。因为水平面内振动的SH波不可能引起垂直面内振动的P波和SV波。



### 地震波在界面上的反、透射



#### 练习 1:

利用费尔马原理证明存在波型转换时的Snell 定律。

$$\frac{\sin(\theta_{\alpha 1})}{V_{\alpha 1}} = \frac{\sin(\theta_{\beta 1})}{V_{\beta 1}} = \frac{\sin(\theta_{\alpha 2})}{V_{\alpha 2}} = \frac{\sin(\theta_{\beta 2})}{V_{\beta 2}}$$

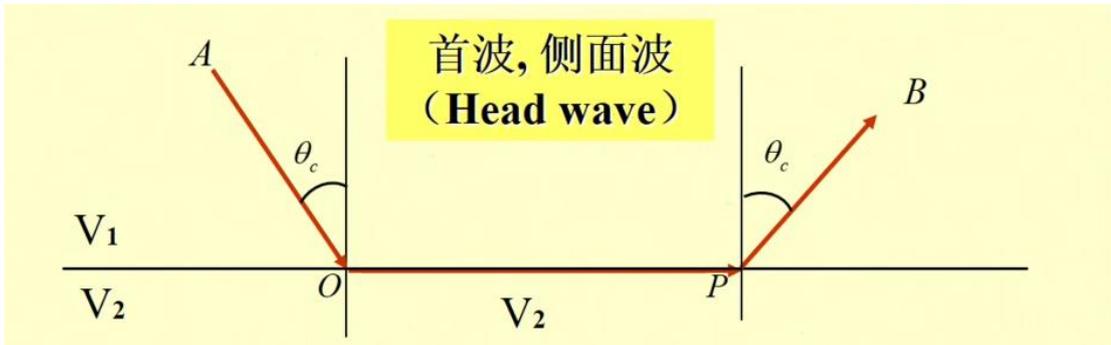
### 3.13 录播

射线参数  $p$  对给定射线 **不变**:

$$\frac{\sin(\theta_{inc})}{V_1} = \frac{\sin(\theta_t)}{V_2} = p$$

当  $V_2 > V_1$  时, 存在临界角  $\theta_c$  满足:  $\theta_t = 90^\circ, \theta_{inc} = \theta_c$

$$\Rightarrow \sin(\theta_c) = \frac{V_1}{V_2}, p = \frac{1}{V_2}$$



### 四、地震波的走时曲线和走时方程

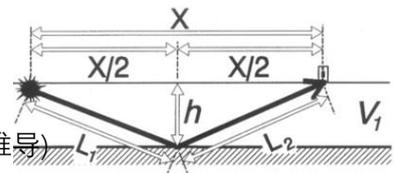
**走时曲线**: 以观测点的震中距为横坐标, 地震波到达时间为纵坐标, 绘制成的曲线

**走时方程**: 震中距与地震波到达时间的关系 ( $T-X$  关系)

1、震源在地表时 ( $h = 0$ ),

(1) 直达波的走时方程:  $T = X/V_1$

(2) 反射波的走时方程:  $T = \frac{2}{V_1} \sqrt{H^2 + \left(\frac{X}{2}\right)^2}$  (根据右图推导)



(3) 首波的走时方程:  $T = \frac{2H}{V_1 \cos(\theta_c)} + \frac{X - 2H \tan(\theta_c)}{V_2}$  (根据上图推导)

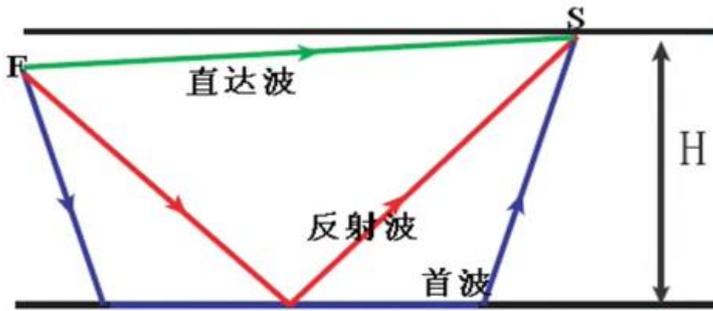
**首波走时方程一定要理解地推一遍(黑板内容)**

我们假设 A, B 两点都在地面上, 假设 AB 和 OP 层的距离为 H

分别利用时间=距离/速度计算 AO, OP, PB 并加和即可

对三种方程做对比时, 注意  $V_2 > V_1$

2、震源在不在地表时( $h \neq 0$ ),



	P 波		S 波	
	名	T-X	名	T-X
称			称	
直达波	$P_g$	$\frac{\sqrt{X^2 + h^2}}{\alpha_1} \approx \frac{X}{\alpha_1}$	$S_g$	$\frac{\sqrt{X^2 + h^2}}{\beta_1} \approx \frac{X}{\beta_1}$
反射波	$PmP$	$\frac{\sqrt{X^2 + (2H - h)^2}}{\alpha_1} \approx \frac{X}{\alpha_1}$	$SmS$	$\frac{\sqrt{X^2 + (2H - h)^2}}{\beta_1} \approx \frac{X}{\beta_1}$
首波	$P_n$	$\frac{2H - h}{\alpha_1 \cos i_c} + \frac{X - (2H - h) \tan i_c}{\alpha_2}$	$S_n$	$\frac{2H - h}{\beta_1 \cos i_c} + \frac{X - (2H - h) \tan i_c}{\beta_2}$

当你推过地面源首波的走时方程后,这张表也就一目了然了

3、补充

(1) 根据直达波估算震中距(黑板内容)

$$X = \frac{\alpha_1 \beta_1}{\alpha_1 - \beta_1} (T_S - T_P) \approx (8 \text{ km/s}) (T_S - T_P)$$

(2) 首波的临界震中距

第一临界震中距 $\Delta_{c1}$ : 震中距小于该值的范围称为首波的**盲区**,该范围内不会出现首波

第二临界震中距 $\Delta_{c2}$ : 直达波和首波同时到达的位置,此后首波是地震图上**第一个震相**

(3) 存在 $PmS, SmP$ 界面上可以进行波形转换

### 第三节 体波各种振相和走时表

1、把地震图上记录到的不同振动类型或通过不同途径的波引起的一组一组的震动叫做

**震相**

2、近震最主要的速度间断面是**莫霍面**, 主要因为上下岩石物质组成不同。

3、界面: **核幔边界, 内外核边界**

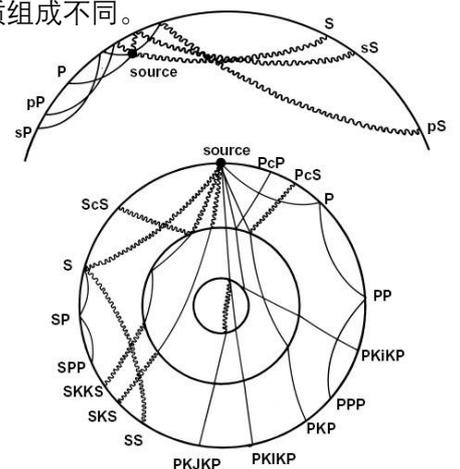
4、记号描述:

**P/S** 从震源向下,在地幔运行

**p/s** 从震源向上,在地幔运行

**K** 外核中的纵波,外核是液态,没有通过外核的横波

**I/J** 内核中的纵,横波





1666, 牛顿发现了万有引力定律, 惠更斯同时得出地球是一个两极扁平赤道隆起的椭圆, 并运用重力原理初步估计出地球的密度;

1798, 卡文迪许确定地球的平均密度为  $5.45\text{g/cm}^3$ , 比普通岩石密度大一倍, 表明地球内部没有空洞

潮汐现象——地球内部状态的重要线索: 如果地球内部是液体, 地球的岩石表面将像大洋潮汐一样涨落, 其结果是在海岸边会看不到潮的涨落。

1897, 维歇特提出地球内部可能由围绕着一个铁核的硅酸盐地幔组成。

1902, 在柏林发表了一个地球的早期模型, 具有固体地壳、弹性地幔和固态核

20 世纪, 运用地震仪获得的地震图 (地震波) 研究地球内部结构。

## 二、地壳的探究

1、指地球的最外固体层。

2、1909, 莫霍洛维奇不连续面 (莫霍面、M 面): 将地壳与地幔分开, 导致了有些 P 波传播的延迟。(发现首波)

3、地壳厚度大陆 > 海洋, 约为 35~45km, 一般分为两层, 下层 P 波的传播速度大于上层。有些地区, 上下层中间存在一个速度间断面, 叫康拉德 (Conrad) 面, 或 C 界面。

## 三、地幔结构

1、因为能传播 S 波, 故被视为固体

2、地幔内部的两个地球二级速度间断面将地幔分为上地幔、过渡层及下地幔。

3、上地幔存在沿水平方向流动的软流层。

4、下地幔的速度梯度较小, 速度的变化也较为均匀, 被认为时板块俯冲深度的终结层, 700km 以下没有发现地震活动。

## 四、地球液体核的发现 (外核)

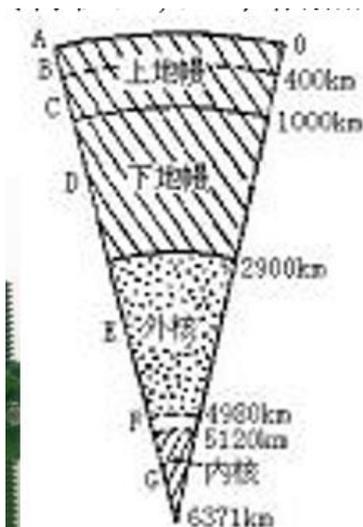
1、1906, 奥尔德姆发现外核。

2、1914, 发现古登堡界面 (核幔界面), 不仅是物质间断面还是温度间断面, 进入外核 P 波、S 波的速度均下降 (S 波下降为零)

## 五、地球内核的发现

1936 年, 由英格·莱曼发现。

## 第二节 地球内部的圈层结构

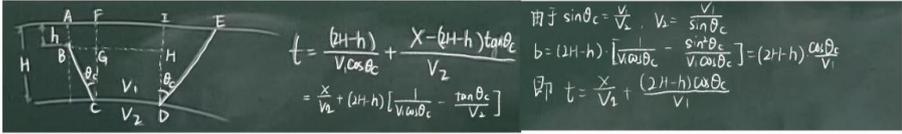


名称	区域	深度范围/km	速度特征
地壳	A	0—33	复杂
莫霍面		33	
地幔	上地幔	B C	梯度正常 梯度较大
	下地幔	D' D''	梯度正常 梯度近于零
古登堡面		2900	
地核	外核E	2900—4980	P波梯度正常
	过渡区F	4980—5120	不详
	内核G	5120—6371	梯度很小

### 3.27 录播

#### 作业讲解板书

4.教材p41习题2:一个震源深度为10km的地震,多个台站记录到的P波首波的走时直线斜率为0.125 s/km,截距为3√7 s,若均匀地壳中P波的速度为6km/s,试估算地幔顶部的P波速度和地壳厚度。



由题意  $\begin{cases} \frac{1}{V_1} = 0.125 \\ \frac{(2H-h)\cos\theta_c}{V_1} = 3\sqrt{7} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} V_2 = 8 \text{ km/s} \\ H = 41 \text{ km} \end{cases}$  (其中  $\sin\theta_c = \frac{V_1}{V_2} = \frac{3}{4}$ )

## 第五章 地震机制

### 第一节 断层

- 1、断层是沿破裂面两侧岩块发生显著相对位移的**断裂构造**。
- 2、地壳运动中产生强大的**应力** (压力和张力), 超过岩层本身的强度对岩石产生破坏作用而形成的。
- 3、岩石变形

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。

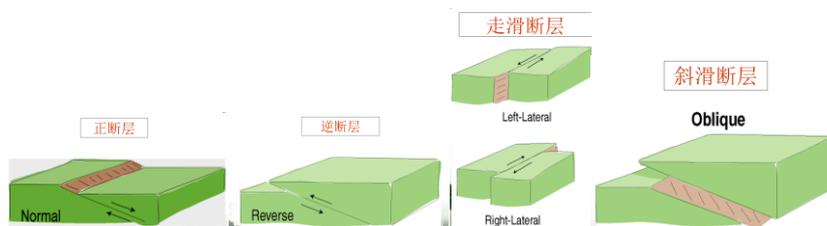
#### 4、断层几何术语

(1) 断层上盘 /断层下盘

(2) 走向：站在断层的地表面上，上盘在正右方，面对的方向是走向方向。断层面和地表交线的走向方向与正北的顺时针夹角叫断层的走向。范围：0-360度

(3) 倾角：断层面与水平面的夹角，范围：0-90度

(4) 滑移：描述断层的上盘相对于下盘滑动的方向（正断层、逆断层、走滑断层、斜滑断层）



## 第二节 弹性回跳原理

### 1、弹性回跳理论的主要论点

(1) 造成构造地震的岩石体破裂是由于岩石体周围地壳的相对位移产生的应变超过岩石强度的结果

(2) 这种相对位移不是在破裂时突然产生的，而是在一个比较长的时期内逐渐达到其最大值的；

(3) 地震时发生的唯一物质移动是破裂面两边的物质向减少弹性应变的方向突然发生弹性回跳。这种移动随着破裂面的距离增大而逐渐衰减，通常延伸仅数千米；

(4) 地震引起的振动源于破裂面。破裂起始的表面开始很小，很快扩展得非常大，但是其扩展速率不会超过岩石中P波的传播速度；

(5) 地震时释放的能量在岩石破裂前是以弹性应变能的形式储存在岩石中的。

### 2、应力和应变

应力是单位面积上所受到的力：

应力 = 力 / 面积

应力在面元法线方向的投影叫正应力

应力在面元切平面上的投影叫剪切应力

地震是储存在断裂面附近的岩石中应变能的灾变性释放。

### 3、地震能

地震能 = 克服摩擦力消耗的热能 + 地震波能量

地震效率 = 地震波能量 / 地震能 (7.5-15%之间)

热流佯谬 - 观测热流值比理论值小十倍

## 4.3 录播

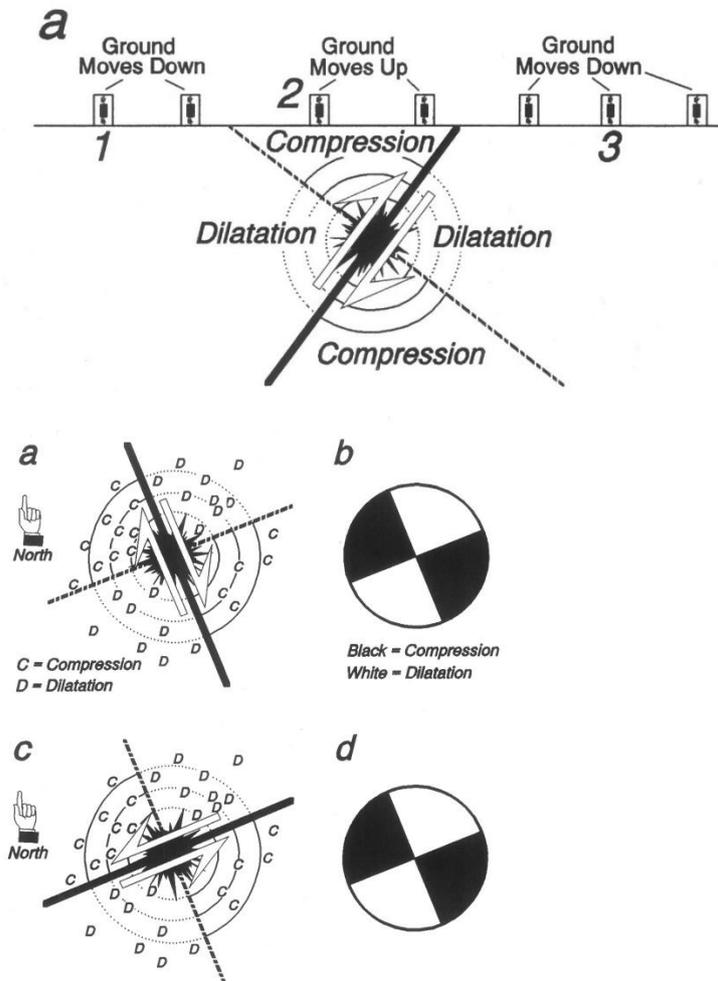
### 第三节 震源机制解

#### 1、背景信息（了解就好，未做强调）

震源物理是指研究地震孕育、发生的物理过程及相关物理现象。由地震震源激发并经过地球介质传播至地震台的地震波，携带着地震震源及地震波传播路径上地球介质两方面的信息。我们利用地震波记录既可以反演地球内部介质的结构，又可以反演地震的震源参数。

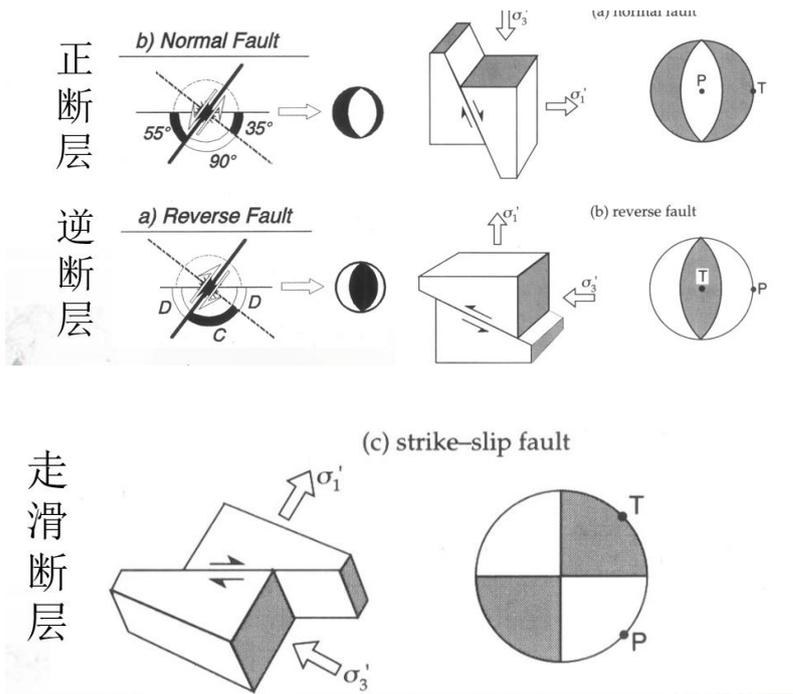
震源机制解指断层方位、位移和应力释放模式以及产生地震波的动力学过程。一般采用各种震源模型进行解析，在分析求解后，提供两组力学参数，一组为断层面走向、倾向和倾角；另一组为最大主应力轴、最小主应力轴和中等主应力轴的方位和产状。

#### 2、地震辐射图案，（记住表象就好）：

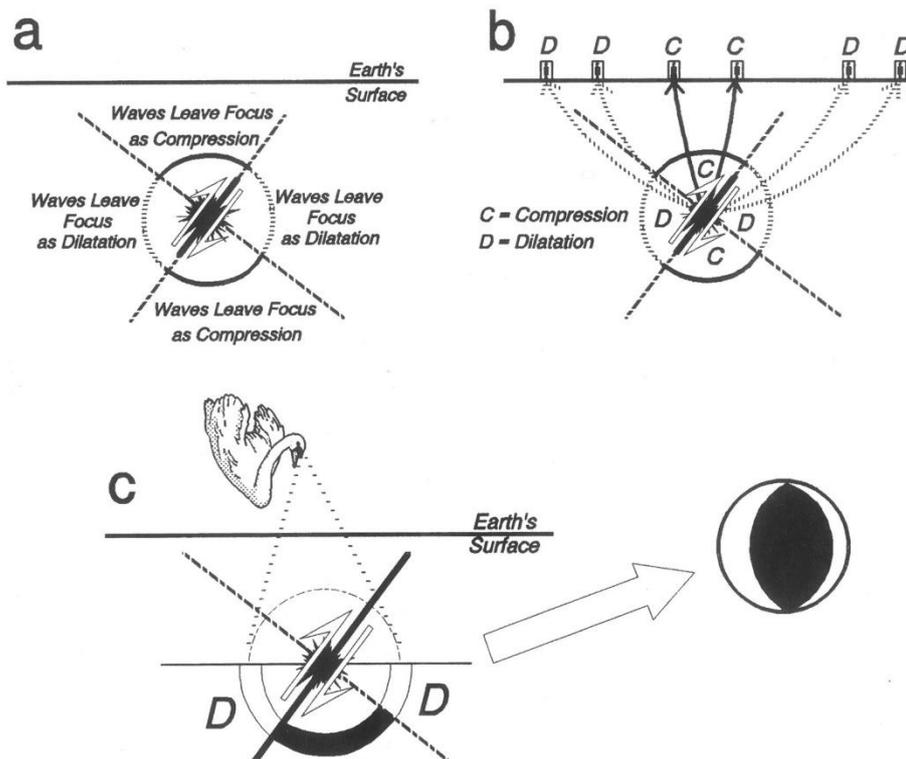


重点讲了这四张图，其中 nanab 为右旋断裂，cd 为左旋断裂

#### 3、震源机制解



重点讲了这三种断层，下面是一些背景信息：



4、震源机制解是什么？

- (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)

5、震源机制球上有两条区分象限的曲线，它们分别代表两个平面，但只有一个平面代表真正的断层面，另一个平面为辅助面，地震学家无法仅从地震图上区分这两个面。

6、根据经验和其他地球物理资料推断真实的断层面:

- (1) 正断层 – 与重力一起作用, 断面较陡。
- (2) 逆断层 – 与重力相反, 断面较缓。

7、总结:

- (1) 断层是岩石破裂面的相互移动。
- (2) 地震沿断层发生。
- (3) 断层面几何与应力相关。
- (4) 地震的震源机制解是断层作用类型的图示描述。
- (5) 虽然断层类型可以由地震波初动确定, 但不能确定哪一个是真正的断层面。
- (6) 有两种可能:
  - 真平面 – 断层面。
  - 假平面 – 辅助面。

#### 第四节 板块构造学说 (“不是真理, 只是假说”)

1、“灾变比均变更重要, 占主导地位”(不考)

17 世纪以前, 地质现象的解释是灾变说。1785 年, 苏格兰地质学家 James Hutton 提出均变原理: “The present is the key to the past”。19 世纪中叶, 均变说被地质学家广泛接受。“将今论古方法”—地质学中最重要原理。直到 19 世纪末 20 年代初, 权威的地质学说认为, 地质构造的运动主要是垂直向的, 横向运动只是垂向运动的副产品。

2、垂向运动说面临的挑战:

- (1) 阿尔卑斯 – 喜马拉雅大规模的推覆构造。
- (2) 太平洋西部的弧状岛屿 (简称岛弧)、岛弧后的边缘海盆地。
- (3) 恐龙 (dinosaur) 化石几乎遍布世界各大陆。
- (4) 南极大陆储藏着煤。
- (5) 酷热的非洲大陆有冰川的遗迹。

#### 3、三个阶段: 大陆漂移、海底扩张、板块构造

(1) 大陆漂移:

早在 1596 年, 荷兰地图制作人 Abraham Ortelius 提出: “美洲是由于地震和洪水的作用从欧洲和非洲分裂出来的。理由是, 这些大陆可以拼成一块大的大陆。1915 年, 德国气象学家魏格纳 (Alfred Lothar Wegener, 1880 – 1930) 提出“大陆漂移假说”。1937 年, 南非地质学家 Alexander du Toit 提供了更多的证据 (沉积学、考古学、古气候、构造相似性等) 支持魏格纳的假说。

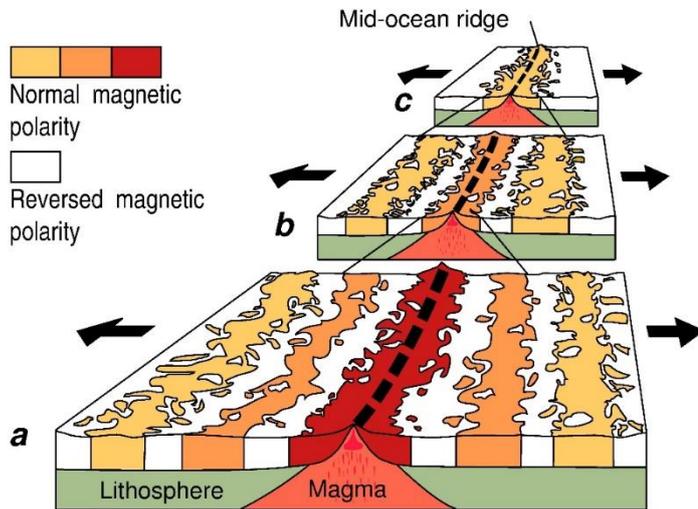
大陆漂移的证据: 形状复杂的板块拟合, 各种化石, 岩石, 山脉, 古气候数据, 古地磁极的迁移。

(为什么日月引力不是大陆漂移的动力: 因为日月引力有周期性)

(2) 海底扩张:

①海底地形测量：1885 年证实大西洋中央海岭存在，一战后证实大西洋中央山脉连续性（大洋中脊），1947 年发现海底沉积层特别薄，海底岩石预估 40 亿年，实际只有 2 亿年，1950 年代发现全球大洋中脊。

②海底地磁测量：大洋中脊两侧岩石磁极性沿中脊两侧成对称条带状分布。



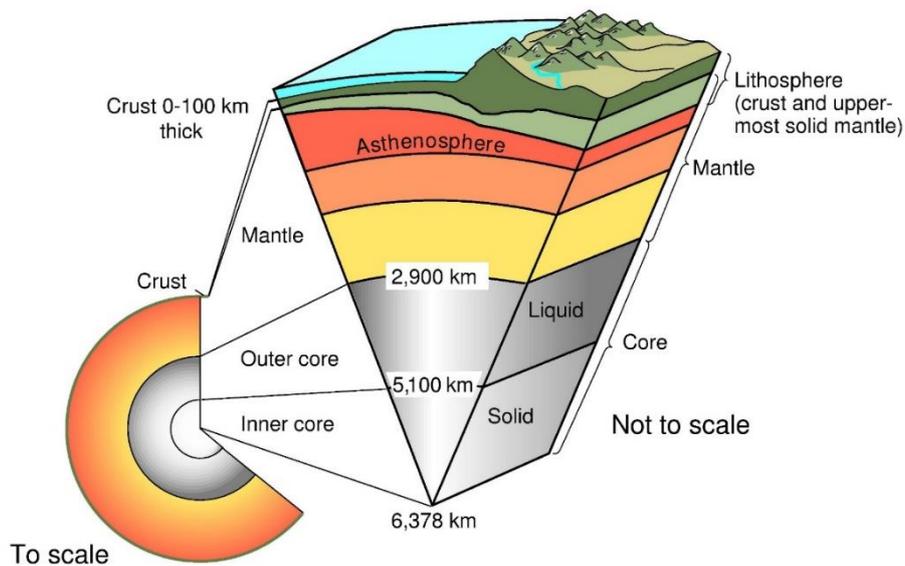
（正常磁极：与现在地球磁性相同，反常磁极：与~相反）

（富铁岩石冷却低于 580°C 之后会留存当时的地球的磁性）

最初解释：地球膨胀假说：海洋扩张假说诞生：熔融的岩浆从地球的深部沿着洋中脊流出产生新的洋壳，并向两边扩展，最后在海沟处消失，回到地球内部，形成洋壳的不断更新和循环。

### （3）板块构造

地球结构：地壳，地幔，地核



七大板块：印度-澳大利亚板块，太平洋板块，北美板块，南美板块，欧亚板块，非洲板块，南极板块（美洲两大板块考虑为一个则六大板块）

4、板块理论的地震学依据：

- (1) 天然地震的空间位置，可以勾画出板块边缘；
- (2) 震源机制解，可以确定板块活动的力学性质；
- (3) 地震测深所得深度速度分布，可以给出板块运动的物理条件。

## 第五节 全球地震活动概况（要求）：

1、加强人口密集区地震监测与地震防范是减轻地震灾难的有效途径

2、地震波能量和震级的通用关系为  $\lg E = 11.8 + 1.5M$  式中 E 的单位是尔格, M 指震级

3、日本、意大利、智利、秘鲁及土耳其是地震十分强烈的国家

4、地震分布呈条带状，在时间上也分布不均

5、全球性的地震带有三个：环太平洋地震带、阿尔卑斯—喜马拉雅地震带(即欧亚地震带)和海岭（大洋中脊）地震带。

6、南半球地震带主要在海洋，北半球地震带主要在大陆且人口多

7、陆地地震影响大，海洋地震影响小

## 4.10 录播

8、北半球地震分布比南半球多，原因是北半球人多，陆地面积比较大；

【例】为什么体波的走时曲线随着震中距的增大变平缓？（举例说明简答和论述的区别，该例以前提过，不会考太深）

简答：随着地球的深度变大地球速度变大，所以斜率变小；如果是论述题就需要多写，比如还要提到面波（简答题需要 1、2、3 的列出来）

9、【略】1900 年以后青藏高原地区地震多于华北平原：我们国家有地方志；华北地区受到太平洋板块挤压；1900 年以后青藏高原的造山运动更加活跃。

## 第六节 地震的种类

1、地震分为：天然地震（构造地震、火山地震和陷落地震）和非天然地震

2、地幔的下部没有地震：高温高压，容易发生流动和弯曲。92%的地震发生在地壳中，其余发生在地幔上部。

3、火山地震（7%）：多发生于太平洋火山地震带上。（岩浆活动）

4、陷落地震：地下溶洞或矿井顶部塌陷而引起的，规模次数较少

5、人工地震

(1) 水库地震：建造水库引起的。蓄水一定程度出现小震（应力会传导，到达临界值就会引起地震），满库会发生大震，期限约在两年后，以后减弱。

(2) 地下核爆：人工地震【重要】

①初动法：爆炸的那一刻：应力状态，震源辐射图案那个球应该是纯黑的（挤压）；随后发生坍塌，球应该是全白的（收缩）（要会判断），但是这是理论状态，个别情况下找不到全黑的，哪个黑的多就是哪个，反之亦然。（比如占到百分之九十以上）

②p波与s波的振幅比，核爆（理论上讲只有P波，没有S波）大于天然地震（P波弱，s波强）

## 第六章 地震仪和地震的基本参数的测定

（主要是定位和震级的测定，这是基本参数）

### 第一节 张衡的候风地动仪

- 1、【年代重要】候风地动仪是张衡于东汉 132 年由张衡创造的。
- 2、候风地动仪利用的是惯性原理：不是预测器而是验震器。

### 第二节 现代地震仪

- 1、【年代重要】1880-1890，第一架具有科学意义而且比较实用的地震仪。
- 2、基本原理：惯性（弹簧摆，地面在动摆不动）

### 第三节 地震台和地震观测台网

- 1、过去的地震台多在天文台附近，因为可以获得准确的时间。

### 第四节 地震定位

- 1、【重要】震中定位的精度是 10 公里，震源深度的精度更差，是 20 公里。
- 2、三角测量：三个圆弧的相交点就是震中。

### 第五节 震级测定

1、常用“里氏震级”，此种分级最初只用于衡量南加州当地的地震大小，现在全世界的地震研究都是使用这种分级系统。

2、震级 (m) 其实是记录了波的最大振幅（记为 a）（以微米为单位），然后取其对数。 $m = \log(a)$

由于一般振幅随着距离的增大而减少，里克特选择距离震中 100 千米的距离为标准。

3、地震释放的能量大约相当于一块砖头从桌子上摔到地面的能量。

4、对于特大地震，里氏地震会出现饱和的问题，因此地震学界用地震矩描述地震大小，而且有物理意义。（震级由于是对数，所以没有意义）

5、里氏震级分别为  $M_s$ 、 $M_b$ 、 $M_l$ ，而  $M_w$  是面波震级。（汶川大地震的震级是 8.0 级其实是面波震级）

### 4.17 录播

# 第七章 地震预报

本章往年考察内容较简单，所有考察过的知识点已在下文用黄色标记。

## 第一节 地震灾害

1975年辽宁海城7.3级地震成功预报。是短期预报。是全球唯一预报成功的一次大地震。

## 第二节 地震的预报及其方法概述

- 1、预测（科学研究）不是预报（政府职能部门发表的预警）。
- 2、(板书) 地震预报三要素：地震发生的时间、地点、强度。
- 3、地震预报一般由省、自治区级人民政府发布。
- 4、研究地震预报的方法：(1) 地震地质方法。应力积累为地质构造结果。(2) 地震统计方法 (3) 地震前兆方法。这三种方法要配合使用。
- 5、长期、中期、短期、临震预测的划分没有明确界限。

## 第三节 地震预报的地震地质方法

- 1、地震是岩层断错的结果，断错主要由剪切应力造成，故要首先注意剪切应力大的地区。
- 2、地震地质方法对时间的预测精度最差。

## 第四节 地震预报的地震统计方法

## 第五节 地震前兆（寻找地震前兆是地震预报核心问题）

- 1、古登堡-里克特关系  $\log N = a - bM$ ，地震震级  $M$ ，次数  $N$ ， $b$  即为大小地震的比例关系。 $b$  值偏低时可能发生大震。
- 2、地震空区理论：有地震倾向、地震的能量释放低于平均水平的区域。
- 3、地震横波纵波的波速比变化
- 4、地下水位与化学成分的变化
- 5、地震与电磁现象
- 6、根据地面形变进行预报
- 7、其他
- 8、地震前兆是地震的既不充分也不必要条件。

## 第六节 地震预报的进展、困难和前景

- 1、困难：地球内部的“不可入性”；大地震的“非频发性”；地震物理过程的复杂性。
- 2、地震是可预测的。
- 3、判断题：一次误报而没有发生的地震的经济损失可能会比地震真发生所造成的损失要大。(T)

## 4.24 录播

### 重点总结

1. 地震预报三要素：时间、地点、强度；其中时间是最测算最不准确
2. 现在只能做临震预报；1975 年辽宁海城 7.3 级地震成功预报
3. 地震前兆与发生地震是既不充分也不必要的条件

## 第八章 宏观地震学

### 第一节 烈度和地震烈度区划

- 1、宏观-人的感觉能直接感知的；微观-仪器测定
- 2、影响地震灾害的因素：
  - 1) 地震震级
  - 2) 人口密度
  - 3) 地震发生时间-汶川大地震伤亡少：发生在白天；唐山大地震发生在夜里
  - 4) 房屋抗震性能-有无抗震设计

5) 其他因素：破坏积累效应-断裂区烈度加大-断层破裂影响；疲劳效应-多次振动或长时间振动震害显著加重作用时间影响；传播(距离)效应-近震对低矮建筑危害较大，远震则高层建筑易受打击-近震、远震影响

- 3、地震震级：

M 表示震级；A 表示标准地震仪距震中 100km 记录的最大水平地动位移单位为微米：

$$M = \log A$$

4、震级与能量的关系： $\log E = 11.8 + 1.5M$  (能量 E 的单位：尔格 (1 尔格= $10^{-7}$  焦耳))

能量越大，震级就越大；震级差一级，能量差大约 32 倍；若地震差两级，最大振幅差 100 倍 (第一个式子)，能量差 1000 倍 (第二个式子)

【原理：差两级，变化量= $\Delta M$  (差几级) \*1.5=3;  $\log E_1 - \log E_2 = 3$ ;  $\log E_1 / E_2 = 3$ ; 即差  $10^3$  倍；由地震介质的非完全弹性决定的。】

- 5、一个 6 级地震相当于一个两万吨级的原子弹。

6、由于震源深浅、震中距大小、地质结构等不同，地震造成的破坏也不同。震级大，破坏力不一定大；震级小，破坏力不一定就小。——采用烈度

一次地震对某一地区的影响和破坏程度称地震烈度 (seismic intensity)，简称为烈度，用 I 表示。一般而言：震级越大，烈度就越大。同一次地震，震中距小烈度就高，反之烈度就低。还与震源深度、地质构造和地基条件等因素有关。

- 7、地震烈度应当同地震震级严格区分。对于某次地震，震级是个定值，(出判断题是对

的)是指地震所释放的能量的级别而言,代表着这次地震的大小。(地震实际的震级和能量是客观存在,但测量的结果可能不同)烈度则在同一次地震中因地而异(烈度不是定值,在不同地区受伤不一样,烈度就不一样)。一般震中所在地区烈度最高,称为极震区。随着震中距的增大,烈度总的趋势是逐渐降低,但由于种种其他因素的影响,难免有起伏不定的变化。——出判断题

8、烈度表也称地震烈度表,即把人对地震的感觉、地面及地面上房屋器具、工程建筑等遭受地震影响和自然破坏的各种现象,按照不同程度划分等级,依次排列成表,称为“地震烈度表”。目前,世界上烈度表的种类很多,以十二度较普遍(我国采用,并加入了加速度和速度的尺度),也有七度表(日本采用)和十度表

9、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。

10、基本烈度(也称为偶遇烈度或中震烈度):一个地区未来50年内一般场地条件下可能遭受的具有10%超越概率的地震烈度值,相当于475年一遇的最大的地震的烈度。(约定俗成的、定义的)

11、设防烈度: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称为设防烈度,用 $I_d$ 表示。抗震设防烈度为6度及以上地区的建筑必须进行抗震设计。

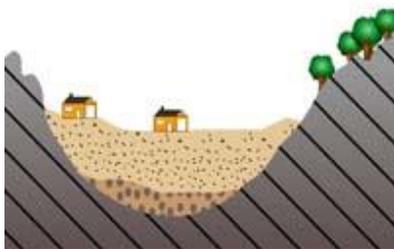
## 第二节 地震的宏观现象和宏观调查

### 第三节 决定强地面震动的因素

1、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(共振现象);强震的持续时间

2、决定任何场点地面震动的强度的因素有3个:①震源机制;②震源与该场点之间岩石的不均匀性和结构变化;③该场点的土壤和其他地质条件。

3、盆地效应和盆地边缘效应:地震波从左边来,中间的房屋先倒;地震波从右边来,左边先倒。(直达波和反射波叠加)



4、基岩上地震动幅值小、持续短、震害轻;淤泥和填充地则放大地震波,像震动地果冻碗一样。

5、北京上海发生同样规模的地震,相同的房子,上海的房子受损更严重,上海三角洲泥地,地质条件不行,造成的烈度大;地球和月球相同物理结构的地方发生相同规模的地震,月球质量小重力加速度小,吸引力小,受损更严重。

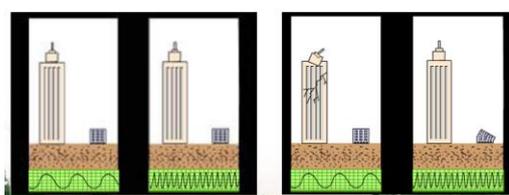
6、1985年墨西哥地震：由于地质条件问题，靠近震中的地震灾害不严重，反而远的地方（湖泊地带）灾害严重；震波被10~14层高的建筑物所放大。在这些建筑物中，共振作用导致了大移位及结构的破坏，没有受到损坏的多是低矮建筑物及摩天大楼（巨大高度使它的固有振动周期长达3.7秒，远大于最强的地震面波周期而不会发生共振。）

7、地震波分为体波（S、P）和面波（瑞利、勒夫）。面波比体波衰减慢、振幅大、周期长、传播远。建筑物破坏主要由面波造成。

8、周期长、频率低的1、3图为面波；周期短、频率高的为体波；在面波条件下，建筑物越高固有频率越小、周期越长，容易和面波共振，高的建筑更易受损；高频情况下，低矮建筑物更易受损。——固有周期（共振周期）

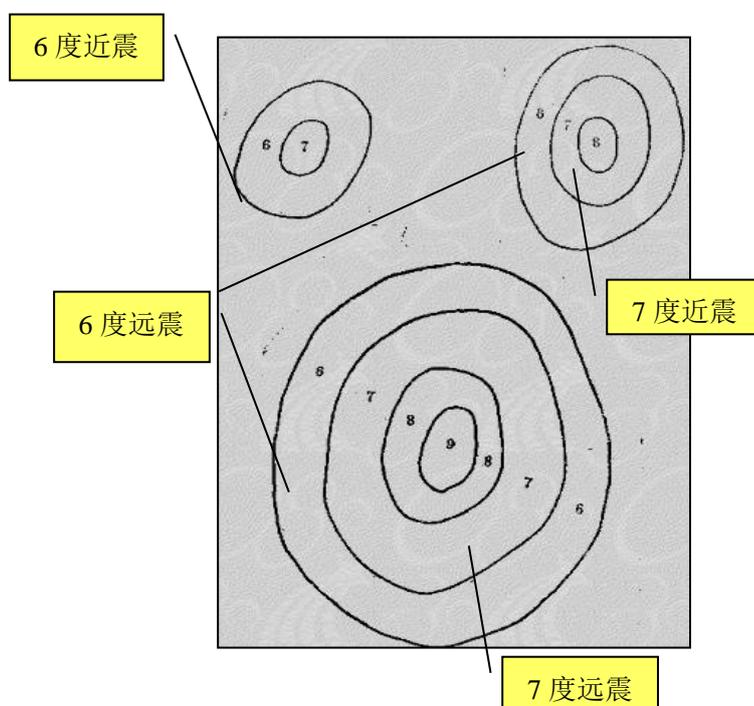
### 设计地震分组

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？



9、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。（烈度相同，对于小地震更靠近震中，而大地震则会相对远，越是大地震远离震中的地方面波越丰富，震中距较近的地方面波没有发育起来）

10、



## 第四节 工程地震学

工程地震学：主要研究强烈地震运动及其效应。（烈度的影响，地震的实际破坏）。和传

统的地震学（研究远场地震）相比，工程地震学主要研究地震的近场效应。

## 5.8 录播

# 第九章 勘探地震学

## 第一节 前言

1、勘探地震学是石油勘探的一项重要技术，是勘探地球物理学的一个分支

2、石油勘探主要有三类方法：地质法；地球物理法；钻探法

3、在实际工作中，需要结合地质、物探和钻井的资料来预测地下的构造岩性特征，以获得油气藏的位置

(1) 地质法俗称地质勘探，通过观察，研究出露在地表的地层、岩石，对浅层有详尽的了解，对深层只有大概的限定

(2) 地球物理方法简称物探，利用地球物理场，具有勘探范围深、效率高的优势，包括重力勘探、磁性勘探、电法勘探和地震勘探

重力勘探：岩石密度差异，测量地面重力变化

磁性勘探：岩石磁性差异，测量地磁场的变化

电法勘探：岩石电阻率的差别，测量电场变化

地震勘探：地震波速差异（精读高，分辨率高，可测深度大，最为广泛，占物探的 97%）

(3) 钻探法（精读最高，成本也高）利用物探的井位进行钻探，但平时很少用，且覆盖范围有限制，在实际生产中更多的是具有辅助性的资料

4、地震勘探法：（效率最高）

利用人工激发的弹性波进行矿产定位，地震勘探所获资料，与其它资料联合使用，能够得到有关构造及岩石类型分布的信息。

勘探地震学是勘探地球物理学的一个分支，它运用地震学理论和方法研究地球内部结构。

30 年代兴起的地球物理勘探（特别是地震勘探），对资源的开发和利用起到了关键作用

(1) 天然地震学：被动源方法，研究尺度较大

(2) 勘探地震学：主动源方法，研究尺度较小（几百米到几公里或几十公里、几百公里）包括反射地震学（反射波），折射地震学（折射波/首波）

反射地震学效果比折射地震学好：

反射信号信噪比高；折射法需要对地底进行结构假想，假想可能出错，且折射信号弱。

折射波方法在地质条件复杂情况下容易导致解释错误也使得折射的方法让位于地震反射波方法。

1919 年德国明托普申请折射法专利，不少公司通过此法获得了工业流油，从此流行起来。

20 世纪 40 年代，哈瑞提出共深度点记录反射波思想：利用叠加消除相对误差

5、海上勘探也在 50 年代发展起来。

6、地震勘探技术分为三个环节：

- (1) 野外采集阶段
- (2) 室内资料处理阶段
- (3) 地震资料的解释阶段（核心）

## 第二节 勘探地震学基础（几何地震学是其理论基础）

### 一、反射波的时距关系：

- 1、水平双层介质的时距关系；
- 2、正常时差；
- 3、水平多层介质一次反射波的时距关系（均方根速度）；
- 4、倾斜地层的时距关系（反射波走时出现最小值）

### 二、折射波的时距关系

### 三、地震速度

- 1、概念：层速度，平均速度，均方根速度（与能量有关），叠加速度
- 2、速度的测量：声波测井法

## 第三节 地震资料的野外采集

### 一、观测系统

### 二、震源（炸药震源，非炸药震源）

### 三、检波器（类似于地震仪）

## 第四节 地震资料的数据处理

### 一、野外地震资料的编辑

静校正：校正到同一个水平面

### 二、去噪处理

低频，高频

### 三、速度分析

### 四、叠加和偏移

1、叠加：消除随机误差

2、偏移：绕射波归位，地层倾角的校正

## 第五节 地震资料的解释（核心）

解释精读达到 30%已经是相当高的水平了，一般 15%到 25%（10 个钻井 2-3 个成功）

### 一、构造解释

地震剖面的分析解释；构造图的绘制；连井解释

### 二、岩性解释（正在发展）

AVO 技术；时频分析解释；多波多分量技术；正演技术和反演技术

## 第六节 勘探地震学小结

勘探地震学与天然地震学的不同：

- (1) 研究的对象不同
- (2) 地震采集的方式不同
- (3) 地震采集的仪器也有所差别

## 5.15 录播

# 第十章 海啸

## 第一节 海啸的形成

- 1、悬崖峭壁和荒漠一般不易受到海啸的影响。
- 2、海啸通常由海底地震引起，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。但不是所有的海地地震都会引发地震，大约只有 1/4 的海底强震才会引发海啸。
- 3、产生海啸的三个条件：地震要发生在深海区，地震震级要大和具备开阔并逐渐变浅的海岸条件。（我国海啸少的原因：不具备开阔并逐渐变浅的海岸条件）
- 4、海啸等级  $m$  和地震震级  $M$  之间的统计关系： $m=2.61M - 18.44$ ，只有 6.5 级以上的海底地震才有可能引发灾害性的海啸。

## 第二节 海啸的特点

- 1、海啸的速度  $v = \sqrt{g \times d}$ ， $g$  为重力加速度， $d$  为海水深度。海啸的传播速度：500miles/h。海啸一个波长有数百公里，最长可达 500 公里。
- 2、海啸的特点：长波长，能量大和传播速度快。

## 第三节 海啸的分类

- 1、海啸按成因可分为三类：地震海啸、火山海啸和滑坡海啸。
- 2、相对受灾区来讲，海啸可分为近海海啸和远洋海啸两类。这种分类是相对的。

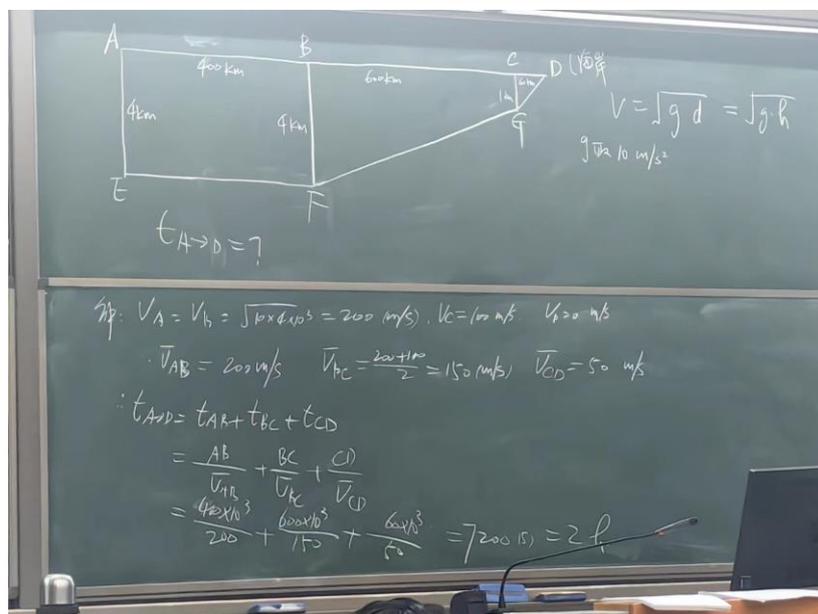
## 第四节 海啸灾害

- 1、全球海啸发生区的分布基本上与地震带的分布一致，主要集中在环太平洋地区和地中海-中亚地区。
- 2、海啸预报不准确。
- 3、如果在海滩或邻近海的地方感到地震，应马上向高处跑去，实在不行去坚固建筑物的上层或到屋顶上，下策去树上。
- 4、如果岸边的海水不正常的增高或降低，这就是海啸的预示。
- 5、躲避海啸时应一直在高处等待，直到官方发布信息解除危机，不要盲目回去。（因为海啸不是一个海浪，它是一系列的多个的海浪。每隔 10 至 60 分钟便有一个波峰涌至，而且

通常第一个波并不是最大的波。海啸所造成的危害，往往在第一个波浪涌至后数小时内仍然持续。)

6、印度洋海啸：2004 年 10 月 26 日；死亡 30 万人；在斯里兰卡，有 40%死亡的是儿童。

7、板书（超级重要）海啸为匀加速运动时海啸从 A 点到 D 点的时间计算：



5.22 录播

## 讨论课

### 第一组、探讨震后重建

#### 1、地震的危害

(1) 1556 年 1 月，华县大地震，有记录以来全球死亡人数最多，当时死亡 10 万人，而在第二年瘟疫中死亡 70 多万人，共 80 多万人

(2) 1920 年，宁夏海原大地震，大部分人死于第二年春疫，死亡 20 多万，中国开始科学研究地震的导火索

#### 2、灾后重建

物质、心理

#### 3、震后防疫

疫情产生原因：空气污染、水源污染、虫媒孳生、居住与生活条件极差、精神与心理上的创伤、饮食条件差

### 第二组、人工诱发地震的主要因素（了解即可）

#### 1、人工诱发地震简介

(1) 诱发地震：其应变直接由外来应力或孔隙压力变化所导致发生的地震

(2) 触发地震：释放了地壳应变，由工业活动较小的应力扰动引起正在孕育的地震的提前发生（发生的是天然地震）

#### 触发地震能量更大

2、人工诱发地震的主要机制

液压作用、应力变化、断层载荷

3、结语：

(1) 地表质量的加载导致地震，包括高大建筑物、沿海工程沉积物，或者水库蓄水均会导致诱发地震。虽然地表应力变化的量级不大，可能远小于地震发生时释放的应力大小（比如水库蓄水等加载在地表的应力量级大约 0.1 MPa），但是大于由于地球潮汐引起的应力变化大小，因此其潜在机制可能是由于地表加载使应力突然变化，会引起地下某个深度的水力学条件改变，导致水向断层扩散，从而导致断层处的孔隙压力的改变，引起断层滑动。

(2) 地下液体提取导致诱发地震的活动包括：地下水、油气、地热等开采。由于地下液体的提取，例如天然气开采，天然气所在地层会压实，因此沿着断层应力会不断积累，由于沿着断层的不同储层分隔压实程度是不一样的，这种不同的储层压实会增大断层上的应力，加速地震的发生。地下物质的注入包括液体和气体，也可能改变地层岩石的孔隙压力。

### 第三组、“地狱之火”与油气勘探

1、土库曼斯坦“地狱之火”的故事

2、油气勘探技术发展的历史沿革

观察、经验-->背斜聚油理论-->地震勘探技术

3、现今主流油气勘探技术

地震勘探：

二维、三维

四维地震勘探（4D seismic exploration）：

也称为时间-推移地震勘探（Time-lapse Seismic exploration），是在同一区域进行不同时间点的三维地震勘探，监测油气藏随时间的变化。

4、油气勘探对现代社会发展的重要意义