

# 地震概论笔记整理

郭嘉睿

2021 年 1 月 6 日

## 1 地震的研究范围和历史

1. 全球每年约发生 500 万次地震, 人类可以感觉出来的仅占 1%;
2. 20 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;
3. 全球死亡超过 20 万人的地震有 6 次, 其中在中国有 4 次;
4. 天然地震的分类:
  - (a) 按成因分: 构造地震, 火山地震, 陷落地震;
  - (b) 按震源深度分:
    - i. 浅源地震: 震源深度小于 60km 的天然地震;
    - ii. 中源地震: 震源深度在 60-300km 之间的地震;
    - iii. 深源地震: 震源深度大于 300km 的地震;
  - (c) 按震中距分:
    - i. 地方震: 震中距小于 100km 的地震;
    - ii. 近震: 震中距小于 1000km 的地震;
    - iii. 远震: 震中距大于 1000km 的地震;
  - (d) 按震级分:
    - i. 弱震:  $M < 3$  的地震;
    - ii. 有感地震:  $3 \leq M \leq 4.5$  的地震;
    - iii. 中强地震:  $4.5 < M < 6$  的地震;
    - iv. 强震:  $M \geq 6$  的地震;
5. 1966 年河北邢台大地震推动了 1971 年国家地震局的成立;

## 2 地震波

1. 波的性质: 波动是震动的传播过程;
  - (a) 产生条件: 机械振动的物体 (波源), 传播机械振动的介质 (弹性介质);
  - (b) 横波: 质点的振动方向和波的传播方向垂直 (仅适用于固体);
  - (c) 纵波: 质点的振动方向和波的传播方向平行;

## 2. P 波和 S 波的区别:

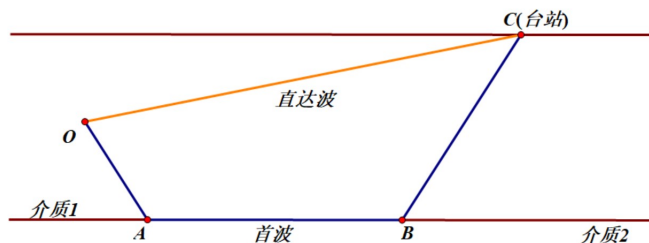
- (a) P 波的传播速度比 S 波快, 地震图上总先出现 P 波;
- (b) P 波和 S 波的质点振动方向垂直;
- (c) 一般情况下, 三分量地震图上 P 波的垂直分量相对较强, S 波的水平分量相对较强;
- (d) S 波的低频成分比 P 波丰富;
- (e) 天然地震的震源破裂通常以剪切破裂和剪切错动为主, 震源向外辐射的 S 波的能量比 P 波要强;
- (f) P 波通过时, 质元无转动运动, 而有体积变化, P 波是一种无旋波; S 波通过时, 质元有转动, 而无体积变化, S 波是一种无散的等容波;

## 3. 地震波的波序: P 波, S 波, 洛夫波, 瑞利波, 地震尾波;

- 4. 地震时的地面运动方向问题“先上下颠后左右晃”, 是用体波 P, S 来解释的. 地面滚动说明瑞利面波到了, 洛夫面波感觉和 S 波类似. 顺序是先上下颠后左右晃, 再滚动.

## 3 地震波传播理论

- 1. 计算时, 一般都假定地球介质是均匀, 各向同性与完全弹性介质的 (计算注意);
- 2. 首波, 直达波的传播路径图 (首波与法线所夹角称为是临界角):



由于首波在分界面上是以深层介质中的速度来传播的, 因此超过一定临界距离之后, 首波率先到达台站. (地震波会选择传播时间最小的路径传播);

- 3. 地球内部发生地震的地方为震源, 震源在地表的垂直投影为震中. 震中距就是震中到观测台站之间的距离, 单位是千米. 另一种震中距单位是度, 就是震中-地球球心连线与观测台站-球心连线的夹角, 与千米制换算: 估算 1 度约等于 110 千米;
- 4. 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, 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;
- 5. 射线理论: 对于一条确定的曲线,

$$\frac{\sin i}{v} = p,$$

式中  $p$  是射线参数 (地震射线的折射, 反射, 转换遵从 Snell 定律);

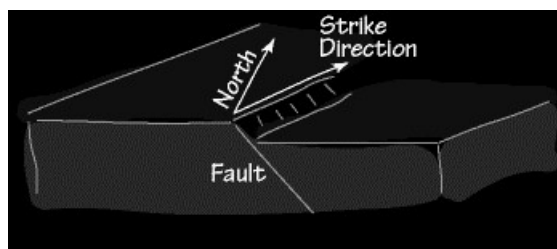
6. 对于远震而言, 地球曲率不能忽略;
7. 对于近震而言, 最主要的速度间断面是莫霍面. 经莫霍面的反射波表示为 PmP, PmS, SmP, SmS, 经莫霍面的首波表示为 Pn, Sn;

## 4 地球内部的结构

1. 1522 年, 麦哲伦完成了环球航行, 证明了地球是圆的;
2. 20 世纪初莫霍洛维奇分析地震点源首波, 说明有速度界面, 从而发现地壳;
3. 大陆地区地壳平均厚度为 35km;
4. 由于地幔可以传播 S(剪切) 波, 所以认为地幔是固体;
5. 地球内部的圈层结构: 从地表开始依次为地壳, 地幔 (软流层, 上地幔, 下地幔), 外核, 内核; 地壳与地幔的分界面是莫霍面, 地幔和地核的分界面为古登堡面, 内外核的分界面为 L 界面;
6. 外核属于液态性质, 内核属于固态性质;
7. 反演问题: 地震学家往往先用观测走时给出距离, 并由此推导出速度分布以及地质构造;

## 5 地震机制

1. 走向  $\varphi_S$ : 断层面与水平面交线的方向. 按如下方式确定: 人沿走向看去, 断层上盘在右. 走向用从正北顺时针量值走向方向的角度  $\varphi_S$  表示. 这里, 断层上盘是指断层面上的断盘.  $0^\circ \leq \varphi_S \leq 360^\circ$ ;



2. 倾角  $\delta$ : 断层面与水平面的夹角.  $0^\circ < \delta \leq 90^\circ$ ;
3. 断层的分类:
  - (a) 正断层: 上盘相对下降的断层 (垂直压应力最大);
  - (b) 逆断层: 上盘相对上升的断层 (垂直压应力最小);
  - (c) 走滑断层: 两盘沿断层走向作相对水平运动的断层, 分为左滑断层和右滑断层 (判断标准: 从一个断层看另一断层向左还是向右运动)(垂直压应力中等);
  - (d) 斜滑断层: 同时具有水平和垂向运动分量的断层;
4. 弹性回跳理论的主要观点:

- (a) 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;
  - (b) 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;
  - (c) 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;
  - (d) 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;(这一点不考)
  - (e) 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;
5. 应力: 单位面积上所受到的力 (压强), 另一个常用单位为 bar, 1bar= 10<sup>5</sup>Pa;(地心处压力最大)
6. 应变: 描述介质受应力后介质产生的形变, 有两种基本类型: 剪切应变, 体积应变;
7. 板块构造学说:
- (a) 1915 年, 魏格纳提出大陆漂移学说这一假设;
  - (b) 海底扩张学说: 指出洋壳的年龄不超过 2 亿年;
  - (c) 地震学为板块构造学说提供三方面的证据: 天然地震的空间位置可以勾画出板块边缘; 震源机制解可以确定板块活动的力学性质; 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;
8. 地震波能量与震级的通用关系:

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

震级差两级, 能量约差 1000 倍 (1 级 32 倍)

9. 全球性的三个地震带: 环太平洋地震带, 阿尔卑斯-喜马拉雅地震带 (欧亚地震带), 海岭地震带; 大约全球百分之八十的浅震, 百分之九十的中源地震以及全部深震都集中在环太平洋地震带上;
10. 百分之 92 的地震在地壳中, 其中上半地壳的地震数大于下半部分;
11. 地震类型: 构造地震 (90%, 最多), 火山地震 (7%), 塌陷地震 (3%), 水库地震; 我国最大的水库地震时 1962 年 3 月 19 日新丰江 6.4 级地震;

## 6 地震仪及地震基本参数的测定

- 1. 张衡的候风地动仪 (公元 132, 东汉) 不是地震仪, 是验震器, 只能判断东西方向, 不能确定是东边还是西边;
- 2. 现代地震仪工作的基本原理是惯性;
- 3. 地震台多是建在天文台附近, 因为可以获得准确的时间;
- 4. 当前地震震中定位的精度大约是 10km, 震源深度的精度大约是 20km;

5. 地震震级的计算: 里氏震级  $M_L$  是最大地震波振幅以 10 为底的对数  $W_L = \lg A$  (以距震中 100km 为标准); (汶川大地震不是里氏 8.0 级, 而是面波震级)
6. 属于里氏震级系统的物理量有  $M_L, M_S, m_b$ ;
7.  $M_S$  不能用于测定深源地震; 对于大地震, 里氏震级有饱和现象; 一般认为, 震级的测定精度在 0.3 左右;
8.  $m_b$  可以提供深源, 浅源甚至远距离的任何地震的震级值;

## 7 地震预报

1. 至今为止全球发生的最大地震: 智利强震引发的火山喷发 (1960);
2. 地震三要素: 时间, 地点, 震级大小;
3. 地震是可预测的, 如何实现地震预报:
  - (a) 依靠科技进步和科学家群体;
  - (b) 强化对地震及其前兆的观测;
  - (c) 坚持地震预测的科学实验—地震预测实验场;
  - (d) 加强国内外的研究合作;
4. 发布地震预报: 地震预报一般由省, 自治区级人民政府发布, 其它任何单位和个人都无权发布地震预报消息; (为什么是省级: 地震一般在一省范围)

## 8 宏观地震学

1. 地震烈度: 一次地震对某一地区的影响和破坏程度, 用字母  $I$  表示. 烈度代表地震的实际破坏程度, 一次地震震级只有一个, 烈度可以有很多个;
2. 地震烈度的单位是度, 我国采取十二度表, 建筑物的抗震设计通常是在一定地震的前提下进行;
3. 基本烈度: 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称为该地区的基本烈度, 相当于 475 年一遇的最大地震的烈度, 基本烈度也称为偶遇烈度或中震烈度;
4. 2008 年汶川大地震大约相当于 1100 个广岛原子弹的能量;

## 9 勘探地震学

1. 大地震多发生在海沟;
2. 几何地震学是勘探地震学的理论基础;
3. 着重注意: 计算题!

## 10 海啸

1. 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;
2. 垂直方向上运动从大到小分别是逆冲断层, 正断层, 走滑断层, 相对的引发海啸的能力越来越低;
3. 海啸产生的条件: 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;
4. 只有 6.5 级以上的海地地震才有可能引发灾难性海啸;
5. 海啸的特点: 波长长 ( $\lambda \gg h$ ), 能量大, 速度快;
6. 海啸预警系统的科学依据:
  - (a) 地震波速大于海啸波;
  - (b) 海啸波波长长, 会引起海水水面大面积升高;

## 11 小组展示内容

1. 大地震破坏时间: 大约是十几秒到几十秒, 近震时先上下颠 (体波 P 波先到), 再左右晃 (面波 S 波后到), 远震只有左右晃 (体波能量耗尽);
2. 海原大地震是我国历史上死亡人数最多的四次地震之一, 伤亡人数约 23.4-27.3 万; 现实意义是两个地震台的设置和民间建筑更加重视加固;
3. 311 本周大地震是全球第五大地震, 也是日本自 1023 年官方测定地震震级以来震级最高的一次地震; 由于震级强, 烈度大, 再加上预判失误和次生灾害, 带来了很大的损害; 其成因是日本处于板块交界处, 位于环太平洋地震带, 日本又是世界上地震最多的国家之一;
4. 日本抗震救灾的意义: 从法律法规, 组织制度, 经济制度着手;
5. 日本每年人能感觉到的地震大约有 1500 次; 日本的活火山大约占世界活火山的  $\frac{1}{5}$

## 致谢

在笔记最后, 感谢王乐安同学提供的地震概论往年笔记, 感谢范皓年同学提供的笔记样本以及部分小组讨论笔记, 感谢公众号“赛艇水手”提供的地震概论往年题和部分笔记整理, 感谢赵克常老师以及助教团一学期的付出!

因篇幅有限, 未能一一致谢, 欢迎使用者提出宝贵意见!

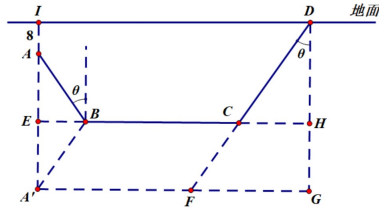
# 地震概论计算题整理

郭嘉睿

2021 年 1 月 5 日

1. 一个震源深度为 8km 的地震, 多个区域台站记录到的 Pn 波走时直线的斜率为 0.125s/km, 截距为  $3\sqrt{7}$ s, 若均匀地壳内 P 波速度已知为 6km/s, 地壳的厚度为多少?

解. 设地壳的厚度为  $H$ , 再设  $FG = x$ . (如下图)



由对称性可知

$$DG = 2H - 8; \quad (1)$$

Pn 波一共沿水平方向走了  $x$ km, 所以

$$DF = DC + CF = DC + AB = 6(3\sqrt{7} + 0.125x); \quad (2)$$

$BC$  是水平的, 由 Snell 定律有

$$\frac{\sin \theta}{\sin 90^\circ} = \frac{6}{8}; \quad (3)$$

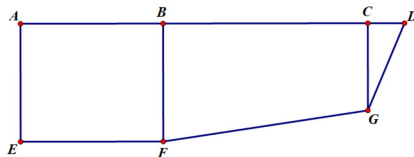
在直角  $\triangle DGF$  中, 有

$$x^2 + (2H - 8)^2 = 36(3\sqrt{7} + 0.125x)^2; \quad (4)$$

$$\tan \theta = \frac{x}{2H - 8}; \quad (5)$$

以上四式联立解出  $H = 40$ . □

2. 如图所示, 已知  $AB$  段是深度为 4km 的海洋, 其长为 400km,  $BCD$  段为大陆架,  $B$  点深度为 4km,  $C$  点深度为 1km,  $D$  点为陆地, 且  $BC, CD$  两段高度分别是均匀的,  $BC$  长 600km,  $CD$  长 60km. 若已知在某一点处地震波的波速  $v = \sqrt{gh}$ , 试求地震波从  $A$  到  $D$  所用的时间.



解.  $AB$  段的速度为

$$v_{AB} = \sqrt{10 \times 4000} = 200\text{m/s}; \quad (1)$$

$C$  点速度为

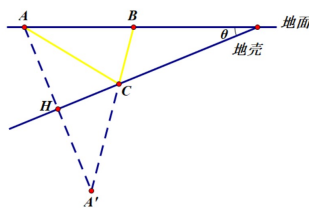
$$v_C = \sqrt{10 \times 1000} = 100\text{m/s}; \quad (2)$$

地震波在  $BC, CD$  段均作匀变速直线运动, 所以

$$T_{AD} = t_{AB} + t_{BC} + t_{CD} = \left( \frac{400000}{200} + \frac{600000}{150} + \frac{60000}{50} \right) \text{s} = 7200\text{s}. \quad (3)$$

□

3. 如下图所示, 已知在某次地震中, 地震点  $A$  距离倾斜地壳的距离为  $h$ , 地壳的倾斜角为  $\theta$  (很小), 地震波的速度为  $v_1$ , 求首相经地壳反射后到达地面的最短和最长时间.



解. 由反射定律可知  $AC = A'C$ . 由垂直可知

$$AA' = 2h. \quad (1)$$

设  $AB = x$ , 在  $\triangle AA'C$  中, 由余弦定理可得

$$\begin{aligned} A'B &= \sqrt{AA'^2 + AB^2 - 2AA' \cdot AB \cos(90^\circ - \theta)} \\ &= \sqrt{x^2 + 4h^2 - 4hx \sin \theta} \\ &= \sqrt{(x - 2h \sin \theta)^2 + 4h^2 \cos^2 \theta} \end{aligned} \quad (2)$$

所以当  $x = 2h \sin \theta$  时 (因为  $\theta$  很小, 所以该值是可以取到的), 最短时间为

$$t_{\min} = \frac{2h \cos \theta}{v_1}; \quad (3)$$

注意到  $x$  并不是无限制增加的.  $x$  的最大值为震中距  $\frac{h}{\sin \theta}$ , 因此最长时间为

$$t_{\max} = \frac{h}{v_1 \sin \theta} \quad (4)$$

□