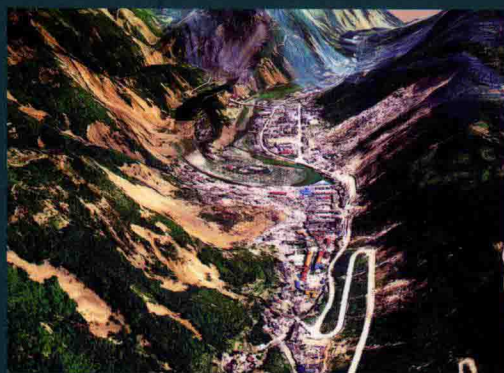


院士谈减轻自然灾害
YUAN SHI TAN JIAN QING ZI RAN ZAI HAI

地震灾害

EARTHQUAKE DISASTER

陈颙 著



地震出版社

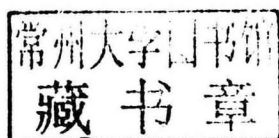
院士谈减轻自然灾害

YUAN SHI TAN JIAN QING ZI RAN ZAI HAI

地震灾害

EARTHQUAKE DISASTER

陈颢 著



地震出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

地震灾害 / 陈颢著. -- 北京 : 地震出版社, 2018.5

ISBN 978-7-5028-4955-9

I. ①地… II. ①陈… III. ①地震灾害 — 普及读物
IV. ①P315.9-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 044950 号

地震版 XM4141

地震灾害

陈 颢 著

责任编辑 : 董 青

特邀编辑 : 张 英

责任校对 : 樊 钰

出版发行 : 地震出版社

北京市海淀区民族大学南路 9 号

邮编 : 100081

发行部 : 68423031 68467993

传真 : 88421706

门市部 : 68467991

传真 : 68467991

总编室 : 68462709 68423029

传真 : 68455221

<http://www.dzpress.com.cn>

经销 : 全国各地新华书店

印刷 : 北京地大彩印有限公司

版 (印) 次 : 2018 年 5 月第一版 2018 年 5 月第一次印刷

开本 : 787 × 1092 1/16

字数 : 103 千字

印张 : 4.5

书号 : ISBN 978-7-5028-4955-9/P(5658)

定价 : 58.00 元

版权所有 翻印必究

(图书出现印装问题, 本社负责调换)

C 目录 Contents

引言	1
地震	4
什么是地震	4
板块构造	7
地震波	9
地震波的多种应用	12
地震的特点	20
地震的大小——震级和烈度	20
地震的分布——地震带	25
地震的频度	27
地震灾害	28
国外几次大地震	28
中国的大地震	36
减轻地震灾害	48
中国不是世界上地震最多的国家， 但地震灾害最为严重	48
高质量建筑能化解地震灾害	52
预防为主，减灾的非工程措施	61
思考题	66
与地震有关的网站	66
致谢	68

引言

作为人类面临的一种主要自然灾害，天然地震（Earthquake）的历史源远流长。中国最早关于地震的报道是在公元前1831年即公元前19世纪。更早的地震文字记载包括象形文字记载是在中东和阿拉伯，在这些地区，我们可以把地震记载追溯到公元前40世纪。地震给人们的印象就是一场灾难。大的地震导致历史上一些最重大的灾害，没有其他自然现象能在那样大的面积、那样短的时间里，造成如此大的

破坏。如1923年的日本关东大地震使距震中60km外的东京和横滨成为废墟，约14万人丧生；1556年陕西华县大地震估计死亡人数近83万，当时“山川移易，道路改观，屹然而起者成阜，坎然而下者成壑，攸然而涌者成泉，忽焉而裂者成涧。民庐官廨、神宇城池，一瞬而倾圮矣”（明隆庆《华州志》）。地震甚至能使山川道路等地貌全然改观，其威力可见一斑。

古代世界的建筑七大奇迹都毁于地震灾害：埃及的大金字塔（The Great Pyramid of Giza），巴比伦的空中花园（Hanging Gardens of Babylon），亚历山大灯塔（The lighthouse of Alexandria），阿特米斯（月亮女神）庙（The Temple of Artemis at Ephesus），土耳其卡里亚王陵（The Mausoleum at Halicamassus），阿波罗青铜巨像（The Colossus of Rhodes），奥林匹亚宙斯雕像（The Status of Zeus at Olympia）（陈颢等，人类活动、自然灾害和活动构造，2001，第四纪研究，21，4）



西方版画中记载的1805年意大利那不勒斯地震。从图中显示的灾害场面，可以看出地震灾害的三种属性：大地震动，地面开裂——自然科学属性；建筑物破坏——工程科学属性；人们惊慌失措——社会人文科学属性

（来源：Jan T. Kozak Collection, Na'l

Information Service for Earthquake Engineering

（[http://nisee.berkeley.edu/elibrary/](http://nisee.berkeley.edu/elibrary/getimg?id=KZ247)

getimg?id=KZ247））

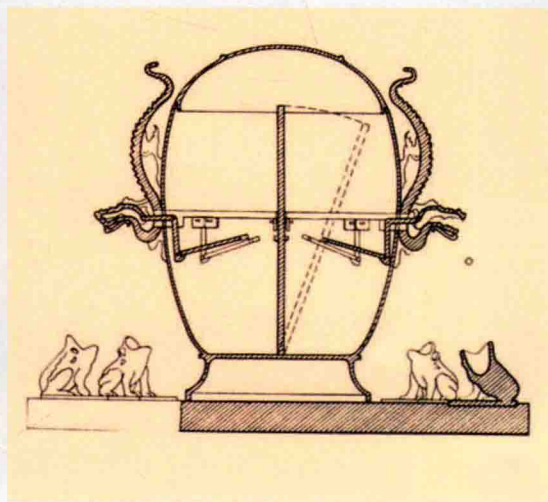


古代日本人民想象地震是由于一条巨大的鲇鱼翻身引起的，制止了鲇鱼翻身，就能避免地震灾害

（来源：东京大学地震研究所）



但是地震到底是怎么回事呢？这是人们一直在思考、探索的问题。古代日本人认为是一种鲇鱼（Catfish）的翻身造成了地震，印度人认为是地下的大象发怒引发了地震，古代中国人则把地震归因于抽象的“阴阳失调”，当然这些只不过是对于地震的想象。真正对地震的科学认识始于132年东汉张衡地动仪的出现。张衡地动仪是基于这样一种对于地震的本质性的科学理解，即地震是一种远方传过来的地面震动。而这一概念建立了地震和地震波的直接联系，这一概念直到18世纪才被西方科学家所重新确认。张衡地动仪的出现以及它所基于的这样一种科学思想实际上代表了地震科学的开始。而现代地震学则开始于19世纪末精密地震仪的出现。



东汉张衡于公元132年创制了世界上第一台观测地震的仪器——张衡地动仪。《后汉书·张衡传》记：“阳嘉元年，复造候风地动仪，以精铜制成，圆径八尺，合盖隆起，形似酒樽，饰以篆文，山龟鸟兽之形。中有都柱，旁行八道，施关发机；外有八龙，首衔铜丸，下有蟾蜍张口承之。其牙机巧制，皆隐在樽中，覆盖周密无际。如有地动，樽则振，龙机发，吐丸而蟾蜍衔之，振声激扬，伺者因此觉知。虽一龙机发，而七首不动，寻其方向，乃知震之所在，……”公元一三八年，陇西发生地震，千里之外的洛阳并无感觉，但地动仪却测到了，许多人不相信，几天后，驿马送来了消息，于是朝廷内外尽皆信服。可惜的是，公元四世纪，这台仪器在战乱中散失，至今失传

从地震科学诞生之日起，它一直沿着两个方向发展，第一个方向是认识地震，第二个方向则是减轻地震灾害。我们先从第一个方向谈起。

地震

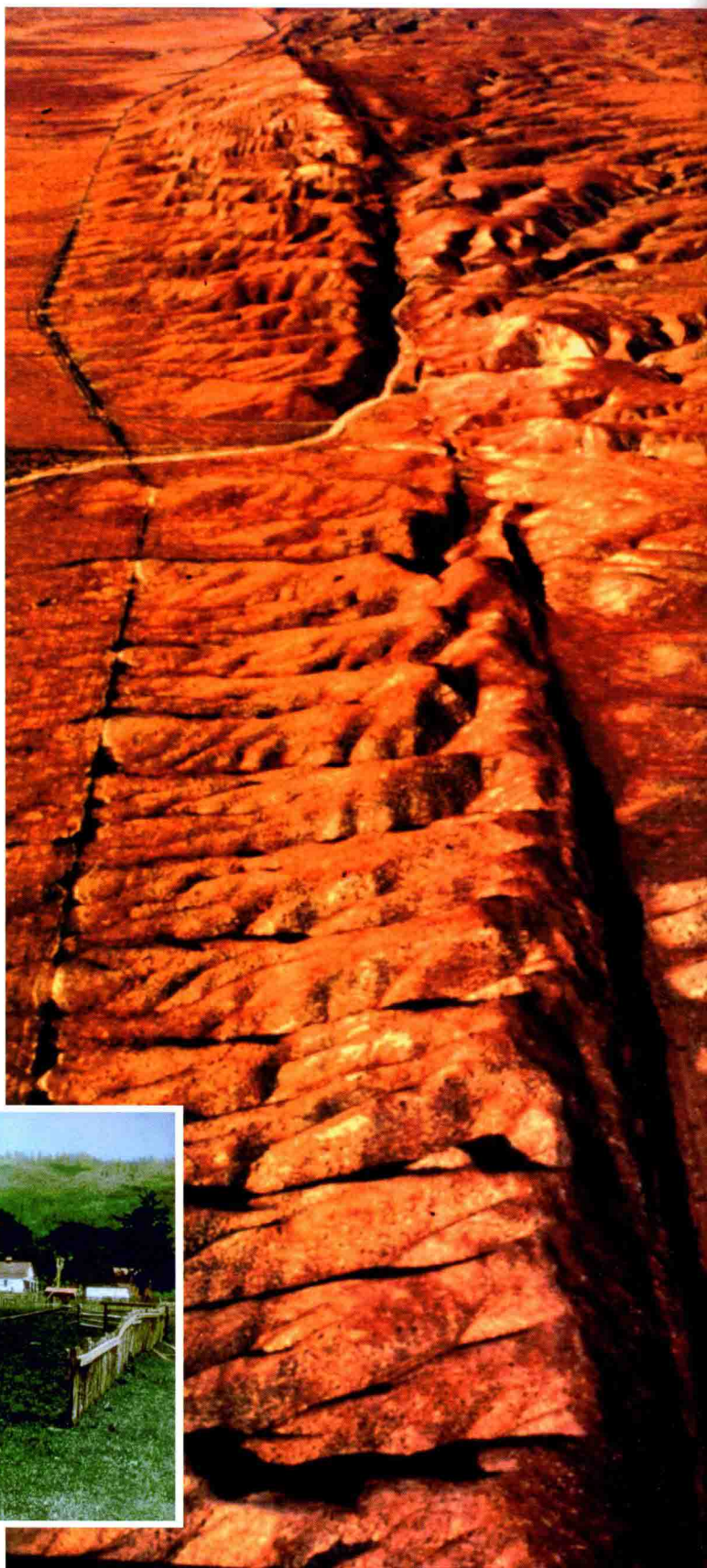
■ 什么是地震

顾名思义，地震就是地球的震动。引起地球震动的原因有很多：火山喷发、行星撞击、海底大滑坡、原子弹爆炸等。但这里谈的地震，是指地下岩石的突然断裂引起的地球震动。地球内部的不断运动造成地壳大规模变形是地震的根源，地壳沿地震断裂面的突然滑移是地震波能量辐射的直接原因。

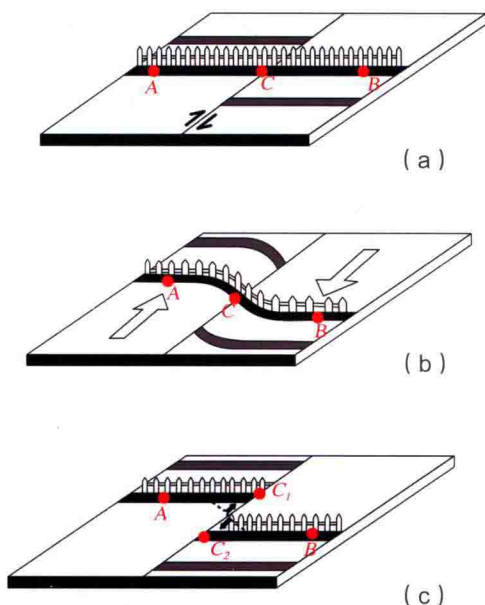
1906年发生的旧金山大地震，为理解什么是地震提供了直接的观测事实。旧金山大地震发生在美国加州圣安德烈斯断层上，地震时，断层两盘发生了3~4m的右旋错动（站在断层的一盘上，观测另一盘的运动，向右就叫做右旋运动，向左叫做左旋运动），垂直于断层的农场的篱笆明显被错开了3~4m的距离。



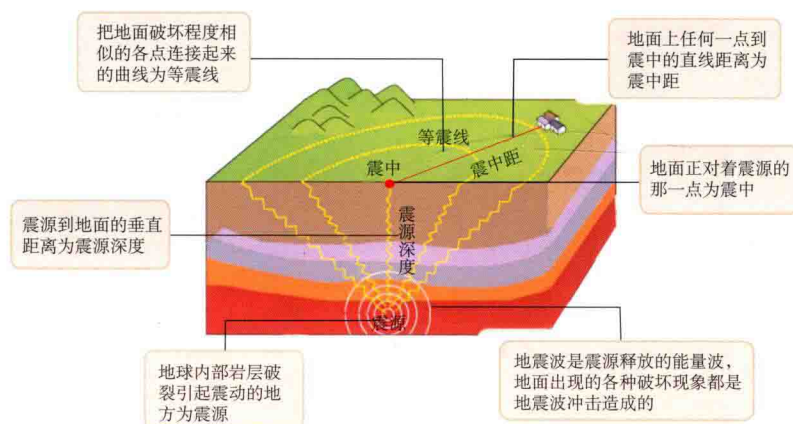
跨圣安德烈斯断层的篱笆在1906年旧金山地震之后发生3~4m的错动（右旋）（来源：Robert E. Wallace, USGS ; G.K.Gilbert, USGS）



下图形象地表示了地震的弹性回跳假说。有一个垂直穿过断层，在两侧延伸许多米的篱笆。用箭头表示的构造力作用使弹性岩石应变。当它们缓慢地作功时，该线（篱笆）弯曲了，左侧相对右侧错动。这种应变作用不能无限地持续，早晚那些软弱岩石，或那些位于最大应变点的岩石要破坏。这一破裂后将接着发生弹回，或在破裂的两侧回跳。这样在图中断裂两侧的岩石中的C回跳到 C_1 和 C_2 。

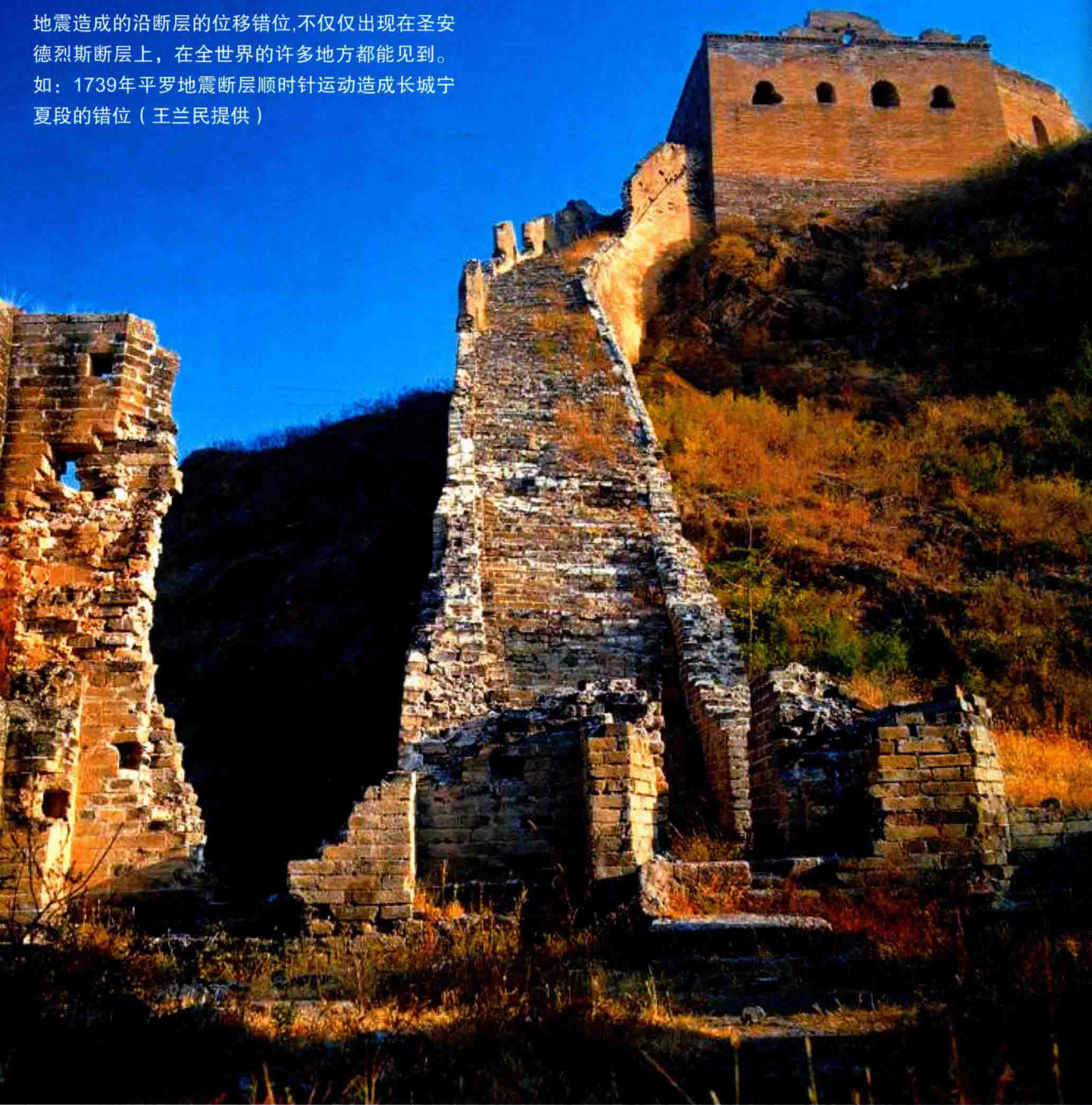


跨圣安德烈斯断层的篱笆当断裂弹性回跳时造成的结果。(a) 篱笆垂直穿过断层，地震前未发生形变；(b) 构造力作用下横过断层的篱笆发生弯曲，A点和B点向相反方向移动；(c) 在C点发生破裂，在断裂两侧的应变岩石弹回到 C_1 和 C_2 。于是，美国工程师里德（Reid）根据这些观测结果，提出了地震的弹性回跳假说：地球深部的作用力使地震活动区岩石产生变形，随时间增加，变形渐渐变大。这种变形在很大程度上，起码在大约千年尺度上，是弹性变形。所谓弹性变形，是指加力时岩石产生体积和形状变化，当力移去时将弹回到它们的原状。旧金山地震前，包括圣安德烈斯断层在内的广大区域发生弹性变形，积聚了弹性能量，地震时，圣安德烈斯断层发生错动，释放了积聚的能量，整个区域又回到原来的状态



地震发生在地下深处，发生地震的地方叫做震源，震源离地面的距离叫做震源深度，地面上正对着震源的地方叫做震中。把地面破坏程度相似的各点连接起来的曲线称为等震线

地震造成的沿断层的位移错位,不仅仅出现在圣安德烈斯断层上,在全世界的许多地方都能见到。
如:1739年平罗地震断层顺时针运动造成长城宁夏段的错位(王兰民提供)



按照震源的不同深度,通常把地震分成三类:

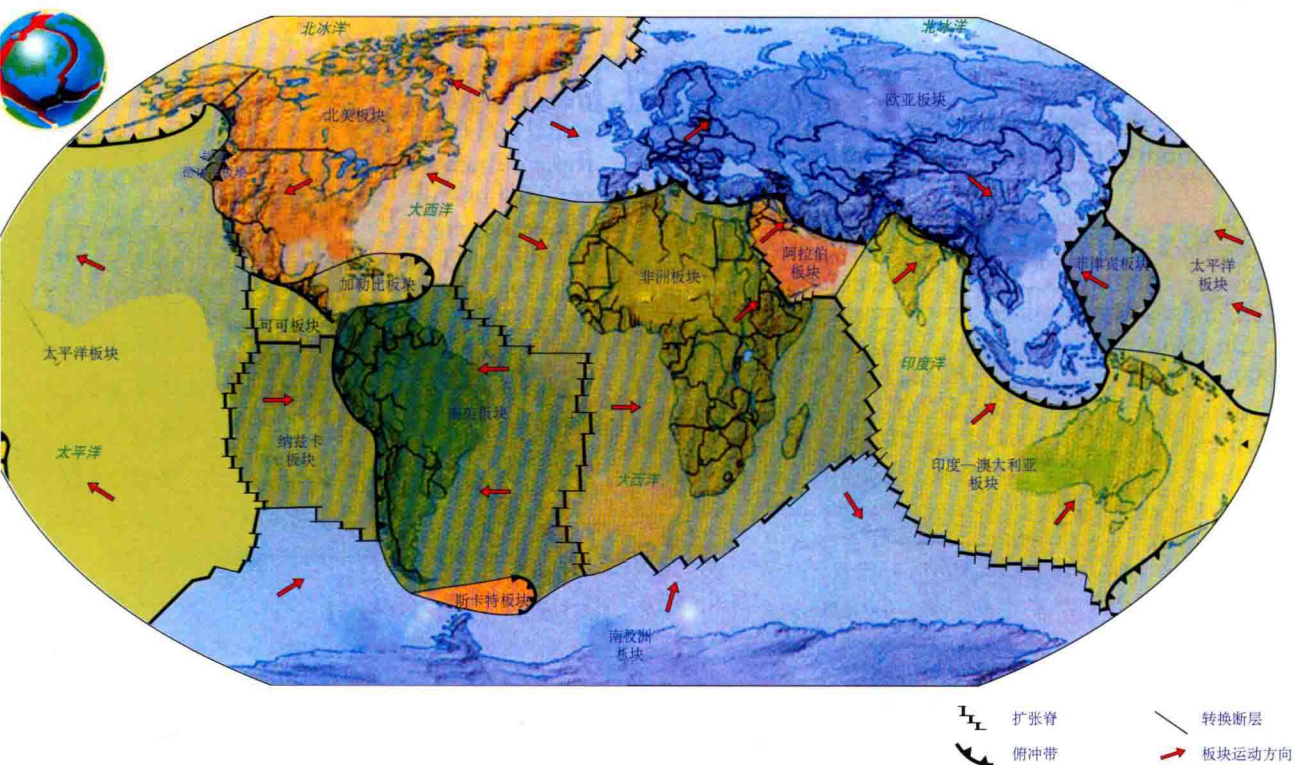
- 浅源地震:震源深度小于70km;
- 中源地震:震源深度在70~300km之间;
- 深源地震:震源深度大于300km。

全世界90%的地震震源深度都小于100km,仅有3%的地震是深源地震。由于浅源地震能够产生更大的地球表面的震动,因此,浅源地震的破坏力也最大。

■ 板块构造

45亿年前，初期的地球是一个炙热的岩浆球，经过长时间的冷却，地球外层形成了一层冷而坚硬(脆性)的岩石，称为岩石圈。地球深处的地幔持续不断地运动，把脆性的岩石圈撕扯成几个部分，就像一个巨大的鸡蛋壳碎片一样。这些碎片就是我们所知道的板块。有一些板块非常大(最大的已标注在下图中)，但也有很多很小的板块。一些板块形成了洋底，其他的在海洋和大陆之下。岩石圈共由7个主要板块和约12个小型板块组成。这些形状

不规则的板块如拼图般彼此嵌合，覆盖着地球表面。地球上7个主要板块厚约100km，覆盖了约94%的地表，太平洋板块是最大的板块，面积达1.08亿 km^2 ，其他主要板块按面积大小，依次为非洲板块、欧亚板块、印澳板块、北美洲板块、南美洲板块和南极板块。其余6%的地表被12个左右较小型板块所覆盖。板块的大小不断改变，有些不断扩展，有些继续收缩，这些过程通常发生于板块边界。

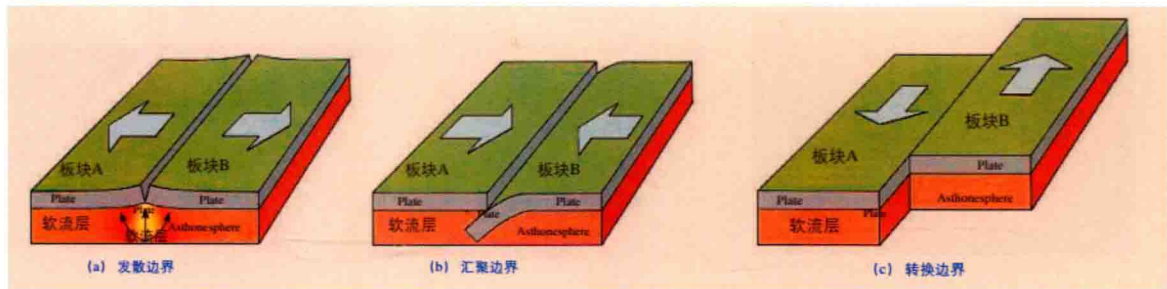


地球岩石圈主要分成了7个主要板块：太平洋板块、非洲板块、欧亚板块、印澳板块、北美洲板块、南美洲板块和南极板块。图中还给出了一些较小的板块。三种不同的板块边界在图中用不同的线条表示

(来源：据Davidson J.P et al., 1997, 改绘)

板块所在岩石圈的下面是软流圈，软流圈也是由岩石组成的，但由于地下深部的温度非常高，软流圈有1%~2%的岩石发生了融化，部分熔融的软流圈力学强度较低，可以发生塑

性变形。于是，漂浮在软流圈上的岩石圈可以发生运动，就像浮冰在海上漂来漂去一样。板块不断地运动，每年移动的距离在几厘米到十几厘米之间，与人类指甲生长的速度大致相当。



岩石圈漂浮在软流圈上，就像浮冰在海上漂来漂去。板块不断运动的速度与人类指甲生长的速度大致相当，每年移动几厘米到十几厘米的距离。按照运动方式的不同，板块与板块之间的边界可以分成三种类型：发散边界（板块被推开，长出了新的地壳）、汇聚边界（板块被拉拽在一起，部分板块消亡）和转换边界

地震的震源深度与板块边界有密切的关系，在板块的发散边界和转换型边界发生的地震多是浅源或中源的，而在汇聚边界发生的地

震则多是深源的，随着海洋板块从海沟向大陆的俯冲，震源的深度也不断地增加。

唐山地震时北京所感到的两种地震波

唐山地震发生在1976年7月28日凌晨3点多钟。当时笔者（陈颢）住在北京前门附近一个非常破旧的二层木制结构的楼房里，楼房至少有五十年历史了，除了外墙是砖砌的，地板和骨架都是木质的，一走起路来地板就发出“咯吱咯吱”的呻吟声。那时正好是夏天，天气出奇得闷热，让人难以入睡。我刚躺着一会儿，迷迷糊糊中就觉得床有些大幅度上下跳动，地板甚至整个楼房都发出“嘎吱”的声音。我立刻意识到“有大地震发生了”。长年从事地震工作的我被晃醒后立即下床，而是躺在床上开始数数，“一、二、三，……”，数着数着床的晃动变小了。当数到第二十的时候，突然又来了一次晃动，比第一次更厉害，整个楼层都在忍受剧痛似的“哗哗啦”乱响。这短短的20秒钟间隔就是纵波和横波到达的时间差（地震通常会产生纵波和横波，纵波在地球介质中传播得快，最先到达我们脚下，引起地表的上下运动；横波跑得慢，我们感到的第二次强烈震动就是横波造成的，地面表现出水平方向的运动。由于横波携带了地震产生的大部分能量，因此它对地表建筑物的破坏更为严重），反映了观测者和震源的距离，差1秒钟，表明约8km远处发生了地震，20秒钟则说明这次地震事件发生在约160km处。于是，我有了一个初步判断：地震不在北京——在距离北京160km的地方有大地震发生了。

这和雷雨闪电的原理是一样的：天空中两片雷雨云相遇时，发出闪电和雷声，闪电（电磁波）跑得快，雷声（空气中的声波）跑得慢，我们先看见闪光，后听见雷声，闪光和雷声之间的时间差，就表示发出闪光和雷电的云距我们的距离。

地震波

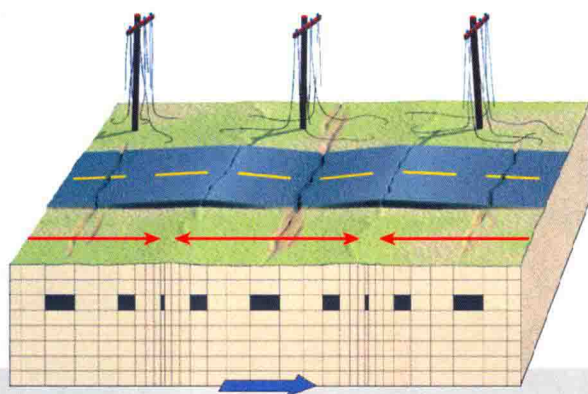
体波

地震在地球内部会产生两种体波：P波（Primary waves，纵波）和S波（Secondary waves，横波）。

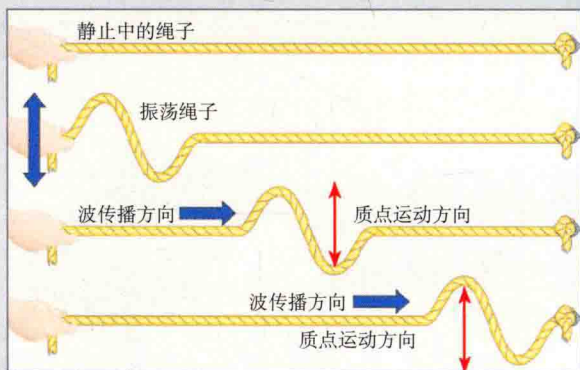
P波是跑得最快的波，它可以在固体、液体和气体中传播。P波与空气中的声波很相似，质点沿着波的传播方向做压缩和拉伸运动。



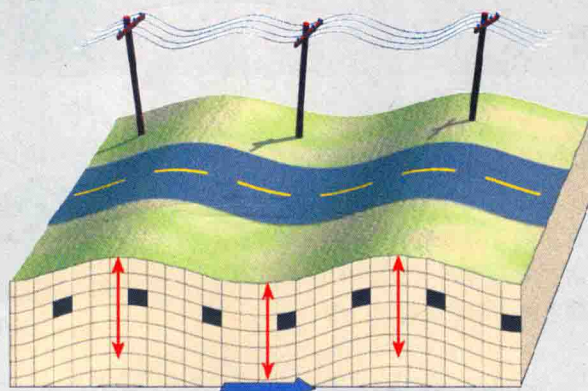
(a) 弹簧产生的P波



(b) 沿地表传播的P波



(c) 绳子产生的S波



(d) 沿地表传播的S波

S波跑得比P波慢，它只可以在固体中传播。在S波传播时，质点的运动方向与S波的传播方向互相垂直，介质中产生剪切应力。由于流体不能承受剪切应力，因此S波不能在液体和气体中传播。

P波和S波的速度由介质的密度和弹性常数决定。

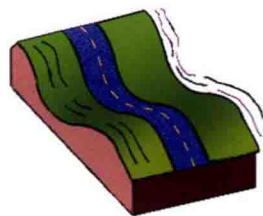
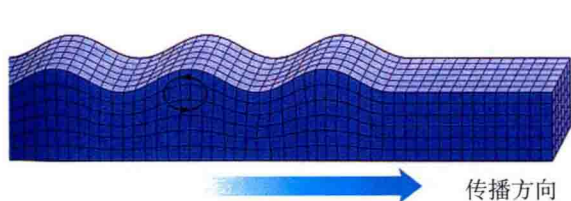
地震在地球内部会产生两种体波：P波和S波。P波的质点沿着波的传播方向做压缩和拉伸运动；S波的质点运动方向与S波的传播方向互相垂直

面波

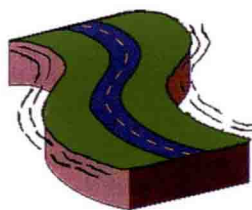
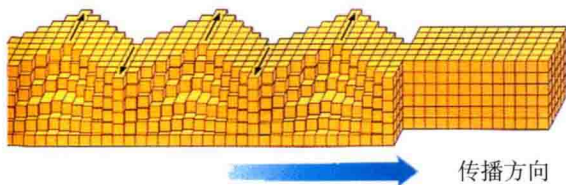
面波是沿地球表面附近传播的一种弹性波。面波传播的速度都比体波慢。最重要的面波有两种：Rayleigh波（R波）和Love波（L波），它们的命名是为了纪念这些波的发现者——英国科学家Lord Rayleigh 和 A.E.H. Love。



Rayleigh波（R波）传播时，质点在沿着波传播方向的垂直平面上做逆时针的椭圆运动，波到来时，地面的运动和水面上的波浪运动一样



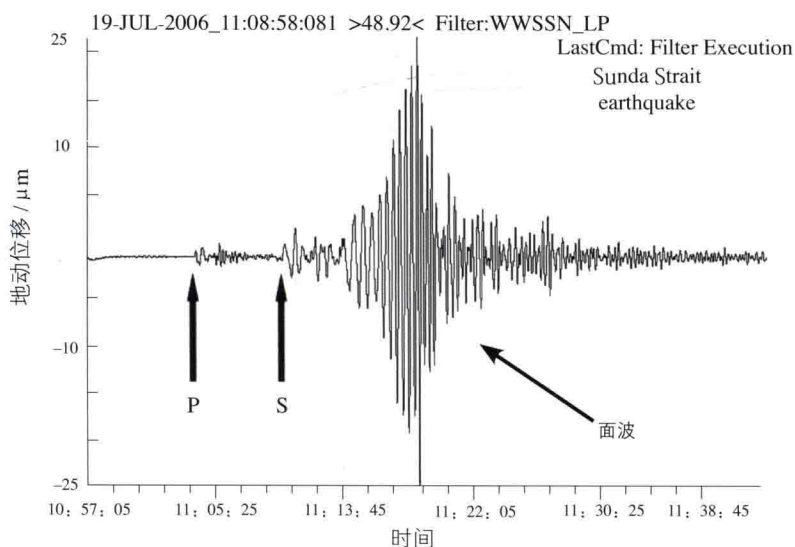
Love波（L波）传播时，质点水平运动，而且运动方向与波传播方向相垂直，地面上质点运动最大，越往地下深处运动的幅度越小





地震作为地球内部的一种震动，发生的时候会产生一系列波动即地震波，而地震波是目前我们所知道的唯一一种能够穿透地球内部的波。今天我们关于地球内部的知识都是怎么得来的呢？这在很大程度上要归功于地震波。19世纪，人们就已知道，地震是一盏照亮地下的明灯。

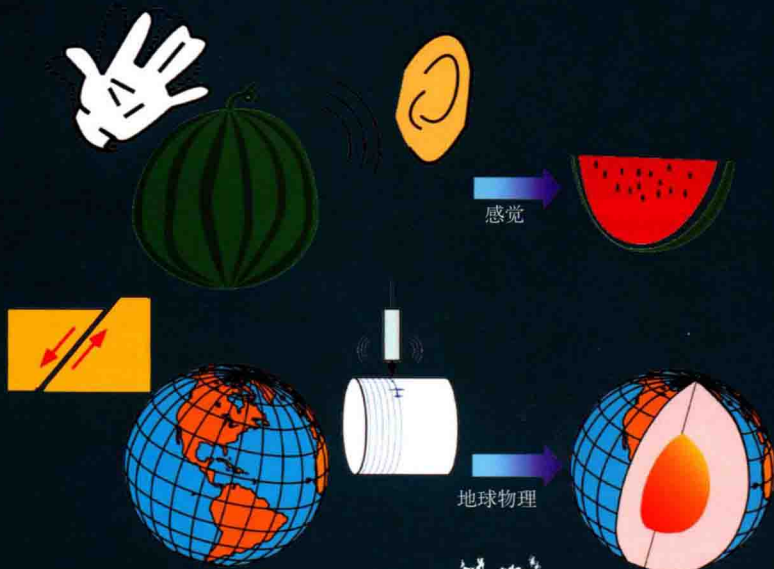
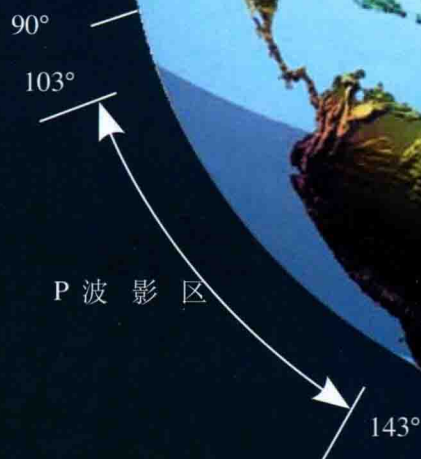
2006年7月19日10:57:36.8印尼巽他海峡发生 $M_s6.0$ 地震（ $S6.5^\circ$ ， $E105.4^\circ$ ），这是中国昆明地震台（KIM，震中距 31.6° ，方位角 355.0° ）的地震波实际记录，纵轴是地震动的位移（单位： μm ），横轴是时间。地震P波到达后，约350s后S波才到达。从这张记录图可以看出，P波的振幅最小，S波振幅较大，而振幅最大、震动时间最长的是面波（Surface waves）

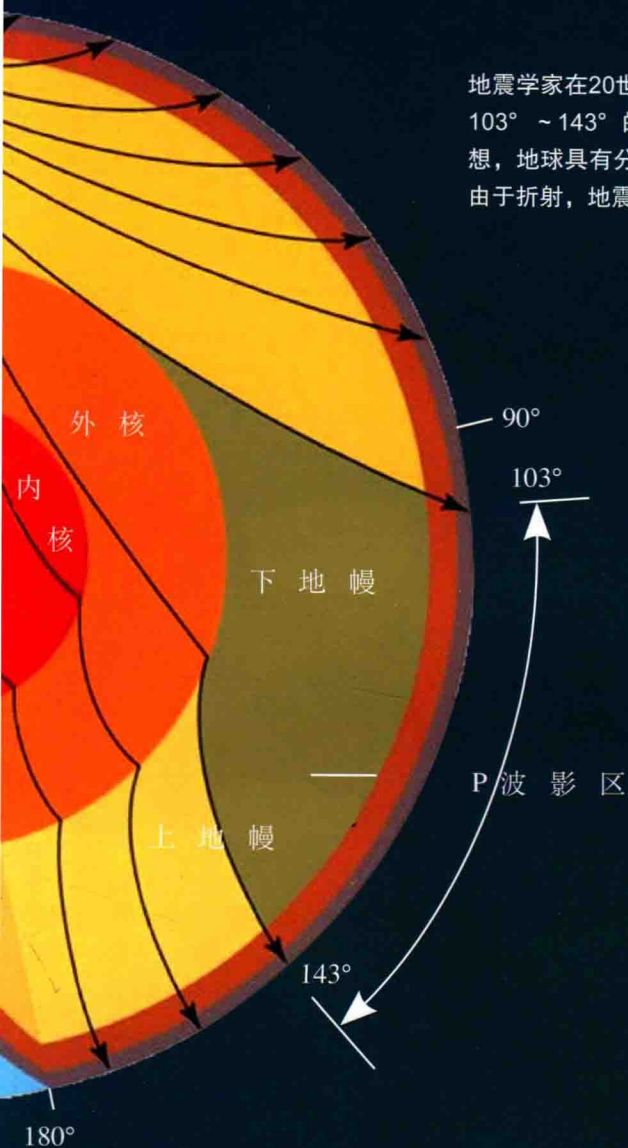


■ 地震波的多种应用

震源发出的地震波会通过地球介质向各个方向传播，我们从而可以在世界各地通过地震仪记录到。20世纪初，地震学家发现，大地震发生后，在距地震震中 $103^{\circ} \sim 143^{\circ}$ 的范围内记录不到地震P波。于是他们猜想，地球具有分层结构，地球内部有一个低速的地核，地震P波由于折射，到达不了 $103^{\circ} \sim 143^{\circ}$ 的范围。人们关于地球内部的认识就从地震波而得来。

人们挑选西瓜都有个经验，用手拍打西瓜听听声音便可以判断西瓜的成熟情况，这是因为不同的西瓜震动时发出的音调和音色不同。地球物理工作者的事业和拍西瓜很相似，只不过有时候通过人工地震手段让地球震动，有时候是地球自己发生地震产生震动，科学家则通过记录和“倾听”这些来自地球内部震动的交响乐——地震波，来判断地球内部的结构和状态。迄今为止，地震波是唯一能够贯穿地球的波动





地震学家在20世纪初发现，大地震发生后，在距地震震中约 $103^{\circ} \sim 143^{\circ}$ 的范围内记录不到地震P波。地震学家由此猜想，地球具有分层结构，在地球的内部有一个低速的地核，由于折射，地震P波到达不了 $103^{\circ} \sim 143^{\circ}$ 的范围

现在我们已经知道地球可以分为地壳、地幔和地核，地核又包括一个液态的外核和一个固态的内核。图中给出了各层的地震波速度。对地球内部的认识，都来源于天然地震的资料和数据

