

單元 8：地震

概述：地震

解釋地震和地震波的類型，成因，影響和科學測量

介紹

您是否想過為什麼加利福尼亞或日本會發生如此多的地震？您是否曾經在地震中感到腳下的堅固地面震動？

想像一下，您每天都在做正常的事情，現在該是結束一天回家的時候了。當您開始收集東西帶回家並上車時，會發生以下情況（請注意，此視頻和下一個視頻均不包含重要音頻）：

這場地震的里氏震級為 9.0 級，是日本遭受的最強烈地震，也是人類記錄的第四大地震。餘震數量超過 1,000，其中里氏震級超過 6.0。近 16,000 人死亡，6,000 多人受傷，2,500 人失蹤。地震還損壞了一個核設施，造成了重大的放射性洩漏。世界銀行估計，破壞造成的經濟損失達 2350 億美元！

一旦震動平息，就會發生以下情況：

地震的原因和位置

調查地震的原因和常見位置

在本部分中，您將學習導致地震的原因以及原因。您還將學習常見地震的位置。

你會學到什麼

- 描述地震及其特徵
- 確定地震原因

- 確定地震通常發生的地方

- 地震的本質
- 地震原因
- 地震的常見地點
- 火環

地震的本質

地震學

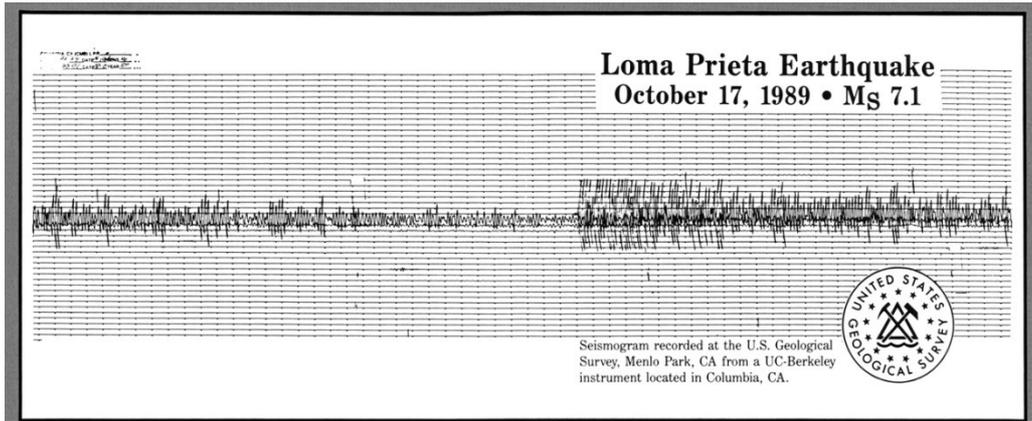
地震學是對地震波的研究。地震學也主要是通過地震產生的波來研究地震。通過測量和分析地震波，地震學家可以得出以下信息：

- 地震的震中
- 地震深度
- 地震的程度（強度）
- 產生地震的斷層運動類型
- 海底地震是否可能引起海嘯（一組巨大的海浪）

除了有關地震和斷層的信息外，地震學還為我們提供了有關地球各層的知識。我們對地殼，岩石圈，軟流圈，地幔和岩心的了解大部分來自地震學。請參閱[地球內部的“基礎知識”](#)頁面。

地震學還為我們提供了有關在地球上任何地方進行的地下核試驗的信息，允許將可能的油藏放在地殼內，並幫助我們預測火山何時爆發。

地震儀和地震儀是用於測量地震波的儀器。傳統的模擬地震儀利用嵌入重錘中的筆（手寫筆）懸掛在彈簧上。當地震發生時地球移動時，在觸控筆下方滾動的一張紙會與地球一起移動，但是觸控筆（其重量懸掛在彈簧上）保持靜止，在紙上畫線以顯示地球的地震運動。下面的 **USGS** 照片顯示了位於加利福尼亞哥倫比亞的地震儀的地震圖，記錄了 1989 年的 **Loma Prieta** 地震。



隨著現代技術的發展，帶筆和捲紙的地震儀被具有電子傳感器和計算機屏幕的地震儀所取代。地震儀和地震儀都會產生地震圖，這是地震波的圖形記錄，可以在紙上或在計算機監視器上查看。

地震原因

以下視頻說明了地震的原因。

彈性回彈理論概述

在地震中，岩石在地殼中破裂的起始點稱為**焦點**。震中是陸地表面上位於焦點正上方的點。在大約**75%**的地震中，焦點位於地殼的頂部**10至15公里（6至9英里）**。淺地震造成的破壞最大，因為重點放在人們居住的地方附近。然而，科學家和媒體報導的正是地震的震中（圖1）。

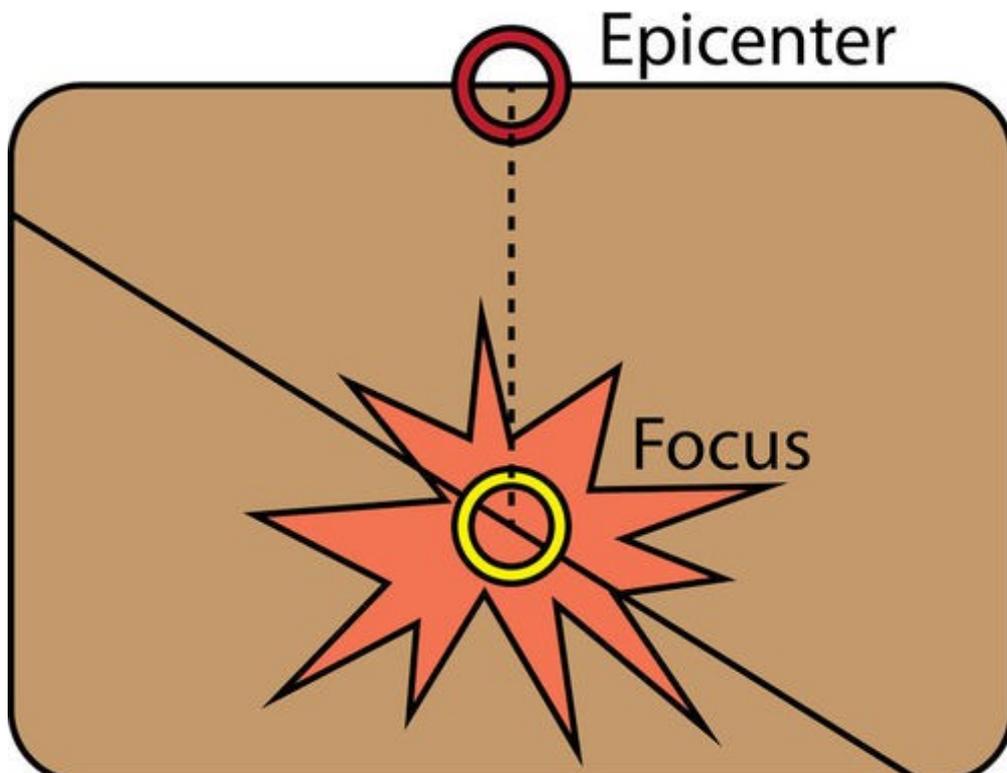


圖 1.在地殼的垂直橫截面中，有兩個標記為特徵-焦點和震中，它們直接位於焦點上方。

[觀看此動畫，概述彈性回彈理論。](#)

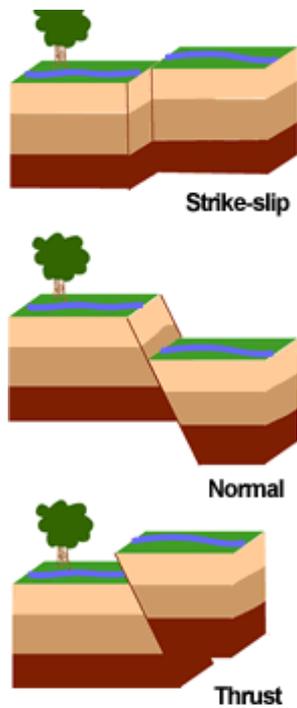


圖 2.故障類型

構造地震發生在地球上任何地方，那裡存儲的彈性應變能足以驅動斷裂沿斷層傳播。僅當沿斷層表面沒有增加摩擦阻力的不平整或不平整時，斷層的兩側才能順暢且抗震地移動。大多數斷層表面確實具有凹凸不平，這導致了粘滑行為。一旦斷層被鎖定，板之間的持續相對運動會導致應力增加，因此會在斷層表面周圍的體積中存儲應變能。這一直持續到應力已經上升到足以克服凹凸不平為止，突然允許在斷層的鎖定部分上滑動，從而釋放了存儲的能量。^[1]

這種能量是通過輻射的彈性應變地震波，斷層表面的摩擦加熱和岩石破裂的組合而釋放的，從而引起地震。這種因偶然的突然地震破壞而逐漸累積的應變和應力的過程稱為彈性回彈理論。據估計，僅將地震總能量的 10% 或更少的輻射作為地震能輻射。地震的大部分能量用於為地震裂縫的發展提供動力，或轉化為摩擦產生的熱量。因此，地震降低了地球的可用彈性勢能並提高了溫度，儘管與從地球深處內部傳導出去的熱和對流相比，這些變化可以忽略不計。^[2]

地震故障類型

共有三種主要類型的斷層，它們都可能引起板間地震：正向，逆向（推力）和走滑。正斷層和反向斷層都是傾滑的例子，沿斷層的位移沿傾角方向，它們的運動涉及垂直分量。正常斷層主要發生在地殼擴展的區域，例如發散的邊界。反向斷層發生在地殼縮短的區域，例如會聚邊界。走滑斷層是陡峭的構造，斷層的兩側水平滑動。變換邊界是走滑斷層的一種特殊類型。許多地震是由斷層運動引起的，斷層具有傾滑和走滑兩種成分。這稱為斜滑。

反向斷層，特別是沿收斂板塊邊界的斷層，與最強烈的地震，大推力地震有關，包括幾乎所有 8 級或以上的斷層。滑移斷層，特別是大陸性轉變，可能會引起大約 8 級的大地震。與正常斷層有關的地震通常小於 7 級。每增加一個單位，釋放的能量大約增加 30 倍。例如，6.0 級地震釋放的能量比 5.0 級地震釋放的能量大約多 30 倍，而 7.0 級地震釋放的能量比 5.0 級地震釋放的能量多 900 倍（ 30×30 ）。8.6 級地震釋放的能量與 10,000 枚第二次世界大戰中使用的原子彈相同。



圖 3. 洛杉磯西北卡里佐平原上的聖安德烈亞斯斷層的航拍照片

之所以如此，是因為在地震中釋放出的能量及其強度與斷裂的斷層面積成正比^[3]和應力下降。因此，斷層區域的長度越長，寬度越大，則結果幅度越大。地殼的最頂部，最脆的部分以及構造板塊的涼爽板塊下降到熱幔中，是地球上唯一可以存儲彈性能並在斷裂破裂時釋放彈性能的部分。岩石在應力作用下會流過大約 300 攝氏度的高溫；它們在地震中不會破裂。^[4]觀察到的最大斷裂和測繪斷層（可能在一次斷裂中斷裂）的長度約為 1000 km。例如 1960 年智利的地震；阿拉斯加，1957 年；蘇門答臘島，2004 年，全部位於俯衝帶。最長的地震發生在走滑斷層上，例如聖安德烈亞斯斷層（1857 年，1906 年），土耳其的北安納托利亞斷層（1939 年）和阿拉斯加的德納利斷層（2002 年），是地震斷層的一半至三分之一。俯衝板邊緣的長度和正常斷層的長度甚至更短。

但是，控制斷層上最大地震震級的最重要參數不是最大可用長度，而是可用寬度，因為後者會以 20 的倍數變化。沿著會聚的板塊邊緣，破裂面的傾角非常淺，通常約為 10 度。^[5]因此，地球頂部脆性地殼內的平面寬度可以變成 50 至 100 公里（日本，2011 年；阿拉斯加，1964 年），從而可能產生最強烈的地震。

走向滑動斷層趨向於垂直方向，導致脆性地殼內約有 10 km 的寬度，^[6]因此，不可能發生大於 8 級的地震。沿著許多正常斷層的最大震級受到更大的限制，因為它們中的許多都位於散佈中心，例如在冰島，那裡的脆性層厚度僅為 6 km。

[4]

另外，在三種斷層類型中存在一個應力等級層次。推力斷層由最高應力產生，走滑由中間應力產生，正斷層由最低應力水平產生。^[7]通過考慮最大主應力的方向，即在斷層過程中“推動”岩體的力的方向，可以很容易地理解這一點。在正常斷層的情況下，岩體在垂直方向上被向下推，因此推力（最大主應力）等於岩體本身的重量。在推力作用下，岩體向最小方向“逃逸”主應力，即向上，使岩體上升，因此覆蓋層等於最小主應力。滑移故障在上述其他兩種類型之間。

在三個斷層環境中，這種應力狀態的差異可能會導致斷層過程中應力下降的差異，這將導致輻射能量的差異，而與斷層尺寸無關。

地震遠離板塊邊界

在大陸岩石圈內出現板塊邊界的地方，變形分佈在比板塊邊界本身大得多的區域。在 **San Andreas** 斷層大陸轉換的情況下，許多地震發生在板塊邊界之外，並且與由斷層跡線中的主要不規則性（例如，“大彎曲”區域）引起的更寬的變形區內產生的應變有關。北嶺地震與該區域內的盲推作用有關。另一個例子是阿拉伯板塊和歐亞板塊之間的強烈傾斜的匯聚板塊邊界，該邊界穿過扎格羅斯山脈的西北部。與該板塊邊界有關的變形被劃分為垂直於西南大範圍區域上的邊界的幾乎純的推力運動和沿著靠近主要板塊邊界本身的主要最近斷層的幾乎純的走滑運動。地震震源機制證明了這一點。^[9]

所有構造板塊都具有內部應力場，這是由於它們與相鄰板塊的相互作用以及沉積物的加載或卸載（例如脫冰）引起的。^[10]這些應力可能足以引起沿現有斷層平面的破壞，從而引起板內地震。^[11]

淺震和深震



圖 4. 在 1986 年聖薩爾瓦多地震之後，聖薩爾瓦多都會的 Gran Hotel 大樓倒塌。

大多數構造地震起源於火圈，深度不超過幾十公里。深度小於 70 km 的地震被歸類為淺焦點地震，震源深度在 70 至 300 km 之間的地震通常被稱為中焦點或

中**深度**地震。在俯衝帶，較老的和較冷的洋殼下降到另一個構造板塊之下，**深**震可能發生在更大的深度（範圍從 300 到 700 公里）。^[12]

這些俯衝的地震活躍區域被稱為 **Wadati–Benioff 帶**。深焦點地震發生在俯衝岩石圈由於高溫和高壓而不再變脆的深度。引起深層地震的一種可能機制是由橄欖石經歷相轉變為尖晶石結構引起的斷層。^[13]

地震與火山活動

地震經常發生在火山地區，並且是由構造斷裂和火山岩漿運動引起的。像 1980 年聖海倫斯火山爆發期間那樣，此類地震可以作為火山爆發的預警。^[14]地震群可以作為整個火山流動岩漿位置的標誌。這些群可以通過地震儀和傾角儀（一種測量地面坡度的設備）記錄下來，並用作預測即將或即將爆發的火山的傳感器。

^[15]

破裂動力學

構造地震始於斷層表面某個點的初始破裂，這一過程稱為成核。成核區的規模尚不確定，有證據表明，例如最小地震的破裂尺度，表明它小於 100 m，而其他證據，例如某些地震的低頻頻譜揭示的緩慢分量，建議更大。觀察到大約 40% 的地震發生在前震之前，這證明了成核過程涉及某種準備過程的可能性。一旦破裂開始，它就開始沿著斷層表面傳播。人們對這一過程的機理了解得很少，部分原因是很難在實驗室中重建高滑動速度。^[16]

破裂的傳播通常使用斷裂力學方法進行建模，例如將破裂類似於傳播的混合模式剪切裂紋。斷裂速度是裂紋尖端周圍體積中斷裂能的函數，隨斷裂能的減小而增加。斷裂傳播速度比斷層上的位移速度快幾個數量級。地震破裂通常以 **S** 波速度的 70-90% 的速度傳播，而這與地震的大小無關。一小部分地震破裂似乎以大於 **S** 波速度的速度傳播。在大型走滑事件中都觀察到了這些超剪切地震。2001 年崑崙山地震造成的同震破壞區域異常寬廣，這歸因於此類地震中產生的音爆。一些地震破裂以異常低的速度傳播，被稱為慢地震。緩慢地震的一種特別危險的形式是海嘯地震，如 1896 年三陸地震那樣，在這種地震中，由某些大地震的緩慢傳播速度引起的相對較低的感覺強度未能使鄰近海岸的居民警覺。^[17]

地震群

大多數地震構成一個序列的一部分，在位置和時間方面相互關聯。^[18]大多數地震群由很小的震顛組成，幾乎不會造成破壞，甚至沒有破壞，但是有一種理論認為地震會以規則的方式複發。^[19]

餘震

餘震是在上一次地震（主震）之後發生的地震。餘震位於主震的同一區域，但震級始終較小。如果餘震大於主震，則將餘震重新指定為主震，將原始主震重新指定為前震。隨著位移斷層平面周圍的地殼適應主震影響，形成了余震。^[20]

地震群

地震群是在短時間內在特定區域內發生的一系列地震。它們不同於隨後是一系列餘震的地震，因為序列中沒有一個地震顯然是主要的衝擊，因此沒有一個地震的震級明顯高於另一個。2004年在黃石國家公園進行的活動就是一個地震群的例子。^[21] 2012年8月，成群的地震撼動了南加州的帝王谷，顯示出該地區自1970年代以來記錄最多的活動。^[22]

有時，在所謂的“地震風暴”中會發生一系列地震，在這些地震中，成簇出現斷層，每個斷層都是由先前地震的震盪或應力重新分佈觸發的。與餘震類似，但在斷層的相鄰部分上，這些風暴歷經數年之久發生，並且某些後期地震的破壞性與早期地震相同。在20世紀襲擊土耳其北安那托利亞斷層的大約12次地震的序列中觀察到了這種模式，並推斷出中東大型地震的較舊異常群。^[23]

地震的常見地點

地震和板塊邊界

大多數（但不是全部）地震發生在板塊邊界處或附近。在兩塊板相對於彼此發散，變形或會聚的位置上，會集中大量的應力並產生大量的應變，其中很大一部分是以地球破裂的形式發生的。

張力是發散板邊界處的主要應力。正斷層和裂谷是在不同板塊邊界處與地震有關的主要構造。發散板塊邊界處的地震通常相對較淺，儘管會造成破壞，但發散板塊邊界處最強烈的地震不如會聚板塊邊界處最強烈的地震那麼強。

變形板塊邊界是水平剪切作用主導的區域，走滑斷層是最典型的斷層類型。大多數轉換板塊邊界穿過相對薄的洋殼（海底結構的一部分），並產生相對淺的地震，這種地震很少發生。但是，在轉換板邊界及其走滑斷層穿過島嶼的較厚地殼或大陸的較厚地殼的地方，在較厚的岩石塊破裂之前可能需要建立更多的應力，因此地震的規模可以高於限定在薄洋殼內的轉換板邊界區域。這在加利

福尼亞州的聖安德烈亞斯斷層帶這樣的地方是明顯的，那裡的轉換斷層穿過大陸殼，地震有時超過 7 個。

收斂的板塊邊界主要受壓縮作用。在會聚的板塊邊界中發現的主要斷層通常是反向或逆衝斷層，包括在兩個板塊之間的邊界處的主斷層斷層，並且通常還有幾個大致平行於板塊邊界的主要斷層。已測量到的最強烈的地震是俯沖地震，震級最高可達 9.0 級。在極端情況下，世界上所有的俯衝帶都處於可能發生甚至高達 9.0 級以上的俯沖地震的危險中，並且很可能會產生海嘯。其中包括北加州的卡斯卡迪亞俯衝帶，俄勒岡州和華盛頓沿海，阿拉斯加南部的阿留申俯衝帶，俄羅斯太平洋的堪察加俯衝帶，

板內地震

一些地震發生在遠離板塊邊界的地方。只要地殼中有足夠的應力使岩石破裂，就可能發生地震。

例如，夏威夷距離任何板塊邊界都有數千公里（數千英里），但是組成這些島嶼的火山已經迅速建立起來，以至於仍在進行重力穩定。夏威夷群島的部分地區偶爾會沿著正常斷層坍塌，從而引起板內地震。大部分地震發生在夏威夷大島上，該島由最年輕，最近建造的火山組成。地質記錄顯示，在過去的幾百萬年中，部分較舊的島嶼經歷了嚴重的坍塌，其中一些島嶼的滑坡由於淺層正常斷層而滑入海底。

另一個例子是美國西部的盆地和山脈地區，包括內華達州和猶他州東部，地殼受到拉力作用。地震發生在正常斷層，遠離西海岸的板塊邊界向內陸。盆地和山脈省的地殼中的張力可能部分是由於中洋海脊系統俯沖在加利福尼亞之下，現在位於盆地和山脈的下方，從而在岩石圈造成了張力。

黃石國家公園周圍的地區也因正常斷層而偶爾發生大地震。該地區的地震可能是由於黃石熱點引起的，在熱點中心周圍的寬廣區域，岩石圈的熱膨脹差異很大。

在過去兩個世紀中，東海岸的一些城市，包括波士頓，紐約和南卡羅來納州的查爾斯頓，經歷了破壞性的地震。這些城市下面的斷層可以追溯到大約 2 億年前 **Pangea** 的裂陷和大西洋的開放。

在新馬德里鎮地區，沿著密蘇里州東南部和田納西州西部的密西西比河，在 1811 至 1812 年發生了大地震。那裡繼續發生中小地震，因此很可能在將來再次發生破壞性地震。該地區下方的斷層系統可以追溯到遙遠的地質年代發生大

陸碰撞和大陸裂谷的時期，而新馬德里周圍地殼的近期壓力可能來自密西西比河三角洲地區大量沉積物的堆積，其擴散在那個地區的南部。

地震和火山

地震和火山之間的聯繫並不總是很明顯。但是，當岩漿在火山下面向上移動時，以及在火山噴發時，會產生地震。火山地震不同於沿斷層彈性回彈發生的更常見的地震類型。

地震學家可以使用來自火山下面的地震的模式和信號來預測該火山即將爆發，並且可以使用地震波來查看該火山是否正在噴發，即使該火山位於偏僻的地方，隱藏在黑暗中或隱藏在暴風雲中。

火山噴口，通常是火山，通常沿著斷層或幾個斷層的交叉點定位。地殼中已經存在的主要斷層可能是引導岩漿上升的自然路徑。但是，在主要的火山建築物上，較淺的斷層是火山發展的產物。在地殼中岩漿浮力的上升壓力，火山岩帶斷層的生長和火山噴出之間存在反饋效應，這尚未完全被理解。

正如本節開始所指出的，並不是所有的地震都是由於堅硬的岩石塊沿斷層滑動所致。當火山經歷強烈的火山碎屑噴發時（換句話說，當火山爆炸時），它會使地球震動。由爆炸性火山爆發引起的地震產生的地震信號與沿斷層滑動引起的地震產生的地震信號不同。

地震的至少另一個部分是由岩漿運動引起的，而不是由完全固態的岩石沿斷層滑動引起的，是由岩漿在火山下向上運動或在地殼中直至或更高的水平運動引起的地震。頂部沒有火山。地殼內岩漿的這種向上運動有時稱為岩漿注入。地震學家仍在研究地殼中岩漿運動與沿斷層的滑動有關的相互作用，這些滑動可能是由岩漿的壓力和運動引起的。

火環

在火圈正是發生在太平洋盆地大量的地震和火山爆發的區域。在 40,000 公里（25,000 英里）的馬蹄形中，它與幾乎連續的一系列海溝，火山弧，火山帶和/或板塊運動有關。它擁有 452 座火山，是世界上超過 75% 的活躍和休眠火山的所在地。它有時被稱為環太平洋帶。

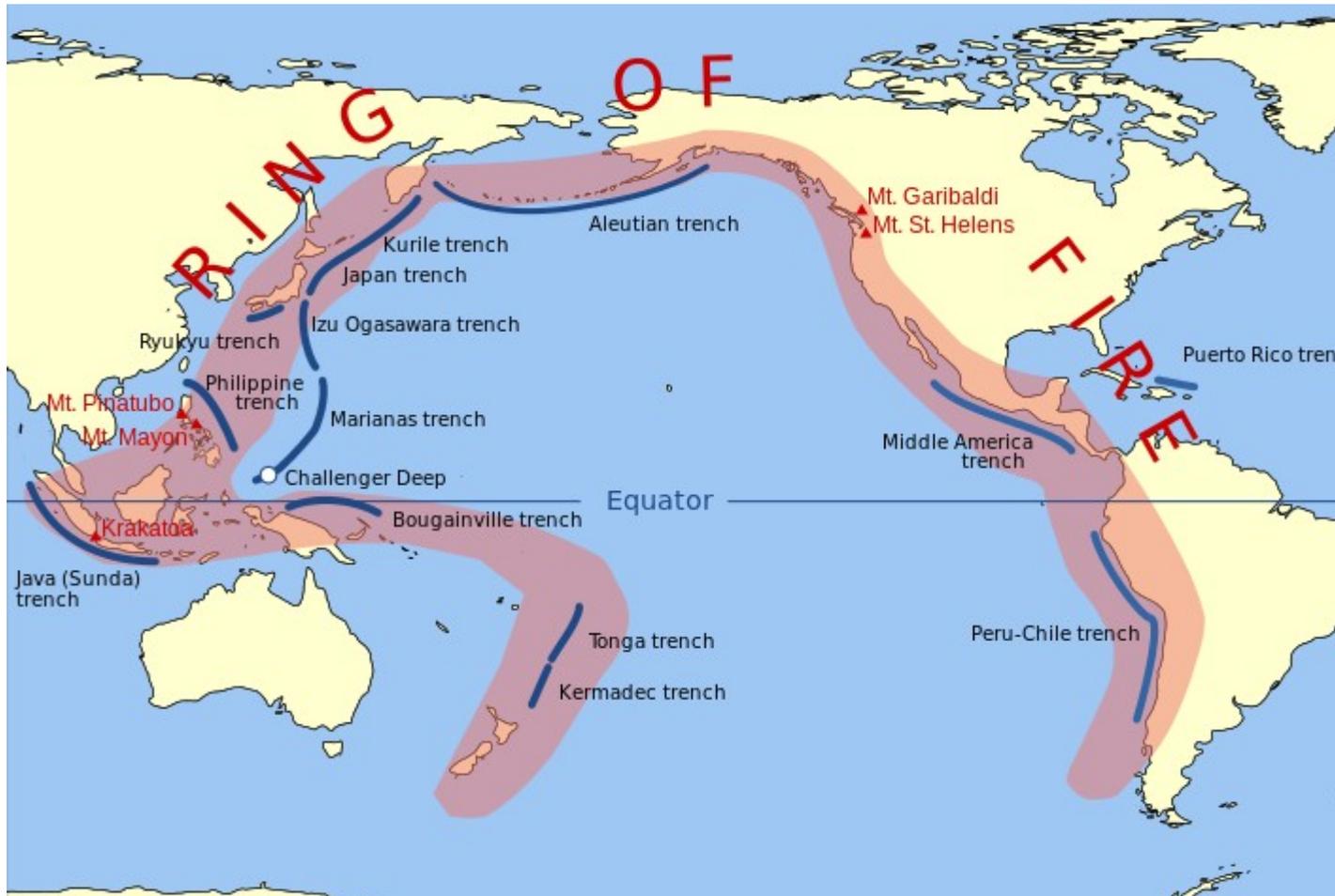


圖 1.太平洋火環

世界大約 90% 的地震和 81% 的世界最大地震發生在火環附近。接下來是地震活動最活躍的地區（佔地震的 5–6%，佔世界最大地震的 17%）是 **Alpide** 帶，從爪哇到蘇門答臘，一直延伸到地中海的喜馬拉雅山，再到大西洋。中大西洋海脊是第三大地震帶。

火環是板塊構造以及岩石圈板塊運動和碰撞的直接結果。環的東部部分是納斯卡板塊和科科斯板塊在向西移動的南美板塊下俯衝的結果。**Cocos** 板塊正在中美洲的加勒比板塊下俯衝。太平洋板塊的一部分以及小的胡安·德富卡板塊正在被北美板塊俯衝。沿著北部，向西北移動的太平洋板塊在阿留申群島弧線之下被俯衝。再往西，太平洋板塊正在日本南部南部的堪察加半島弧線上俯衝。南部地區較為複雜，與菲律賓馬里亞納群島的太平洋板塊相撞，有許多較小的構造板塊，九重葛，湯加和新西蘭；這部分不包括澳大利亞，因為它位於其構造板塊的中心。印尼介於沿東北群島毗鄰並包括新幾內亞的火環，沿蘇門答臘，爪哇，巴厘島，弗洛雷斯和帝汶從南向西的 **Alpide** 帶。加利福尼亞著名而活躍的聖安德烈亞斯斷層帶是一個轉換斷層，它抵消了美國西南部和墨西哥下的東

太平洋上升部分。斷層的運動每天會產生多次無數小地震，其中大部分地震規模很小，難以察覺。在加拿大不列顛哥倫比亞省海達瓜的西海岸，活躍的夏洛特皇后斷層在 20 世紀產生了三場大地震：1929 年的 7 級地震；以及 1929 年的 7 級地震。1949 年的 8.1 級地震（加拿大有記錄以來最大的地震）；並在 1970 年達到 7.4 級。

波浪類型

比較和對比不同類型的波的特性和力學

發生地震時，它釋放的一些能量會轉化為地球內部的熱量。一些能量被用於使斷層沿線的岩石和礦物破碎並使之永久變形。其餘的能量，即大部分能量，以地震波的形式從地震的焦點輻射出去。

地震波分為兩大類：穿過地球內部的體波（P 波和 S 波）和僅在地球表面傳播的表面波。

你會學到什麼

- 識別縱波特徵和行為
- 識別 S 波的特徵和行為
- 識別表面波特徵和行為

本節的包括以下內容：

- 身體波
- 表面波
- 自檢：波的類型

身體波

體波穿過地球內部。體波有兩種類型：P 波和 S 波。

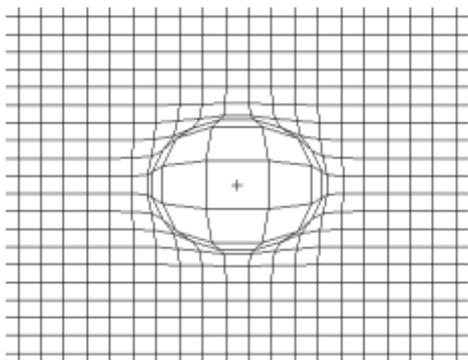
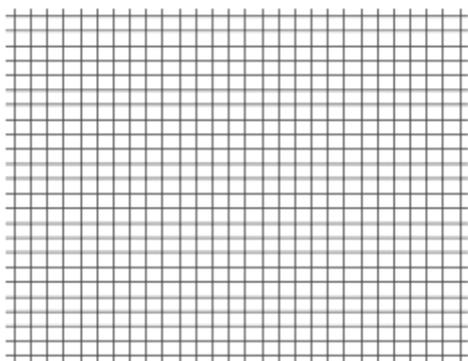
P波

P波中的P代表主要地震，因為它們是最快的地震波，並且是地震發生後第一個被檢測到的地震波。P波在地球內部的傳播速度比噴氣飛機的速度快許多倍，僅需幾分鐘即可在地球上傳播。

P波主要是壓縮波。隨著P波的通過，材料沿與波移動相同的方向壓縮，一旦波通過，材料便會擴展回其原始厚度。P波穿過材料的速度取決於：

- 剛度-材料抵抗側向彎曲的強度以及一旦剪切力通過後便能夠拉直的強度-材料越堅硬，P波越快
- 可壓縮性-可以將多少材料壓縮成較小的體積，然後在壓縮力通過後恢復其先前的體積；材料可壓縮性越強，P波越快
- 密度-材料在一個體積單位中包含多少質量；材料的密度越大，P波越慢

下面的動畫顯示了在平面（左）和從點源（右）傳播的P波。



P 波在液體，氣體以及固體中傳播。儘管液體和氣體的剛性為零，但它們具有可壓縮性，這使它們能夠傳輸 P 波。聲波是在空中傳播的 P 波。

由於隨著在軟流圈以下的深度增加，地球的地幔變得更加堅硬和可壓縮，因此 P 波在地幔中越深，傳播越快。地幔的密度也隨著在軟流圈以下的深度而增加。較高的密度會降低地震波的速度。但是，在深層地幔中增加剛度和可壓縮性的影響遠大於增加密度的影響。

***P 波穿過具有剛性和/
或可壓縮性以及密度
的材料***

更大的剛性 更快的 P 波

更大的可壓縮性 更快的 P 波

更高的密度 較慢的 P 波

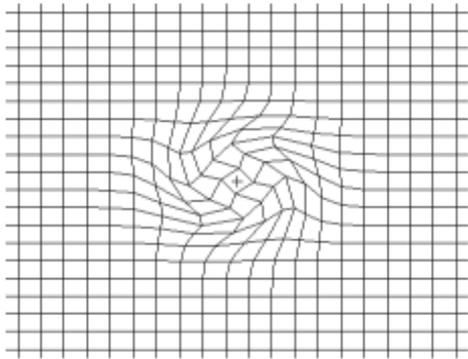
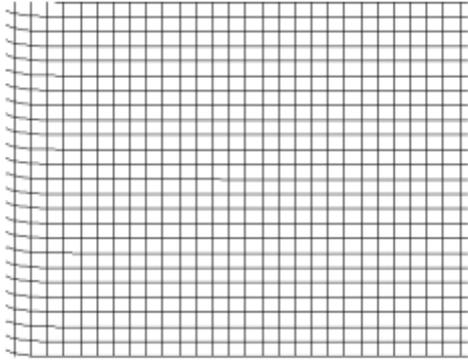
S 波

S 波中的 S 代表次要地震，因為它們是第二快的地震波，並且是發生地震後要檢測的第二種類型。儘管 S 波的速度比 P 波慢，但它們仍然以 P 波速度的一半以上的速度行進，以每小時幾千公里的速度穿過地殼和地幔。

S 波是剪切波（儘管這不是 S 所代表的）。它們通過沿波傳播方向橫向彎曲（剪切）的材料彎曲或變形而移動，然後在波通過後返回到原始形狀。S 波穿過材料的速度僅取決於：

- 剛度-材料抵抗側向彎曲的強度以及一旦剪切力通過後便能夠拉直的強度-材料越堅硬，S 波越快
- 密度-材料在一個體積單位中包含多少質量-材料的密度越大，S 波越慢

下面的動畫顯示了在平面（左）和從點源（右）傳播的 S 波：



S 波只能通過固體傳播，因為只有固體才具有剛度。**S** 波不能傳播通過液體或氣體。

因為地球的地幔隨著其在軟流圈以下的深度增加而變得更加堅硬，所以 **S** 波在地幔中越深，傳播越快。地幔的密度在更大的深度處也會增加，這有降低地震波速度的作用，但是剛度的增加遠大於密度的增加，因此，**S** 波隨著在地幔中的深入而加快，儘管密度增加了。

***S* 波穿過具有剛性和密度的材料**

更大的剛性 更快的 **S** 波

更高的密度 較慢的 **S** 波

表面波

表面波有兩種類型，瑞利波和洛夫波。瑞利波是以英國貴族瑞利勳爵（**John Strutt**）的名字命名的，他在作為科學家和數學家的工作中，對以他命名的表面波類型進行了詳細的數學解釋。瑞利波是由地球表面 **P** 波和 **S** 波的組合效應引起的。瑞利波有時也稱為滾動波。在瑞利波中，地表在波峰和波谷中上升和下降，類似於水面的波。在大地震中在戶外活動的人們通常會看到瑞利波在地球表面上移動，並且當波通過下方時，他們會感覺到地面在起伏。

愛情波有時也稱為 **L** 波，以英國數學家，物理學家奧古斯都·洛夫（**Augustus Love**）的名字命名，他首先對它們進行了數學建模。愛情波涉及向側面剪切的表面，然後在每波通過時返回其原始形式。

所有表面波傳播的速度都比體波慢，而瑞利波的傳播速度卻比洛夫波的傳播速度慢。

強度和強度

定義並比較強度與強度

本節向您介紹地震的幅度和強度。您將了解兩者的相似之處和不同之處。

你會學到什麼

- 定義地震震級。
- 定義地震烈度。

本節的包括以下內容：

- 測量地震
- 強度與強度
- 自檢：幅度和強度

測量地震

人們一直試圖量化地震的規模和破壞。自 20 世紀初以來，已經有三種方法。每個優點和缺點是什麼？

- **Mercalli 強度量表**。根據附近居民的感受以及對附近建築物造成的破壞來描述地震。
- **里氏震級標度**。該標尺由查爾斯·里希特（Charles Richter）於 1935 年開發，使用地震儀測量地震釋放的最大能量震蕩的幅度。
- **矩量表**。測量地震釋放的總能量。矩幅值是根據斷裂的斷層面積和地面沿斷層移動的距離來計算的。

里氏標度和矩量級標度是對數的。

- 最大波的幅度從一個整數到下一個整數增加十倍。
- 一個整數的增加意味著釋放出三十倍的能量。
- 這兩個比例通常會給出非常相似的測量結果。

5 級地震的最大地震波的振幅與 4 級地震的最大地震波的振幅如何比較？與三級地震相比如何？5 級地震的最大地震波的振幅是 4 級地震的 10 倍，是 3 級地震的 100 倍。

在矩量級上增加兩個整數如何比較釋放的能量？兩個整數等於釋放能量增加了 900 倍。

您認為哪種比例最好？在里氏震級下，一次劇烈的震盪要比會釋放更多能量的很長時間的強烈地震高。矩量級更準確地反映了釋放的能量和造成的損害。現在，大多數地震學家都使用矩量表。

在**測量地震**視頻中討論了科學家測量地震強度的方式，並描述了兩個最常見的標度（里氏震級和矩震級），並討論了 1906 年舊金山地震：

強度與強度

強度和強度衡量地震的不同特徵。震級測量震源釋放的能量。**幅度**是根據地震

儀上的測量確定的。**強度**衡量地震在特定位置產生的震動強度。強度取決於對人，人類結構和自然環境的影響。

計算地震幅度

地震的強度是一個數字，可以將地震的相對功率進行比較。幾十年來，地震震級是根據加州地震學家查爾斯·里希特（**Charles Richter**）首先開發的方法計算的。里希特使用在聖安德烈亞斯斷層帶發生的地震地震圖來校准他的震級尺度。

將兩個測量值一起考慮以確定地震的里氏震級：記錄在地震圖上的最大波的振幅以及到地震震中的距離。最大振幅地震波（最高地震波的高度）在地震圖中以毫米為單位測量。到震中的距離也必須考慮在內，因為距地震的距離越大，海浪越小。距離的影響不在計算之列。對於 **Richter** 刻度沒有上限，但是經過一個世紀的地震儀測量，看來地球上的岩石釋放了應力，然後積累了足夠的能量以達到 **10** 級。

發現里氏震級不能很好地從聖安德烈亞斯斷層帶（轉換板塊邊界）轉移到會聚板塊邊界發生的更為強烈的地震，特別是俯衝帶地震。因此，里氏標度已由矩量級標度代替，表示為 **M_w**。

彎矩震級尺度與里氏震級大致相似，但是它考慮了更多因素，包括地震過程中斷層的總面積及其移動量。這樣產生的震級數可以更好地表明地震釋放的能量總量。由於矩震級已取代了里氏震級，因此從這裡開始，我們在談到地震震級時是指矩震級，而不是里氏震級。

震級標度將能量對數描繪為大約 **32** 的基數。例如，**6.0** 級地震釋放的能量大約是 **5.0** 級地震的 **32** 倍。**7.0** 級釋放的能量大約是 **5.0** 級地震的 **32 倍×32 = 1024** 倍。**9.0** 級地震（很少發生）釋放的能量是 **5.0** 級地震的一百萬倍。

排名地震烈度

地震烈度與地震強度有很大不同。地震強度是根據在每個特定地方觀察到的地震影響而得出的排名。因此，每次地震都會產生一系列強度值，範圍從震中區域的最高到距震中距離為零。最常用的地震烈度等級是修改後的 **Mercalli** 地震烈度等級。有關縮寫版本，請參閱美國地質調查局地震危險性計劃網站上的“[修改後的 Mercalli 強度量表](#)”頁面。

下表顯示了每個震級每年大約發生多少次地震，以及震級在每個震級範圍內可能是多少。

大小	每年平均數	改良的馬卡里強度	描述
0 – 1.9	> 100 萬	-	微 - 感覺不到
2.0 – 2.9	> 100 萬	I – 世	小 - 很少感覺
3.0 – 3.9	約 100,000	II – III	未成年人 - 少數人注意到
4.0 – 4.9	約 10,000	IV – V	輕巧 - 許多人感覺到了輕微的損壞
5.0 – 5.9	約 1,000	六 至 七	中等 - 大多數人感覺到，可能會出現灰泥和煙囪破裂
6.0 – 6.9	約 130	VII – IX	強 - 損壞程度取決於建築物和底材
7.0 – 7.9	大約 15	IX – X	重大 - 廣泛破壞，部分建築物被毀
8.0 – 8.9	約 1	X – XII	太好了 - 大範圍的廣泛破壞，許多建築物被摧毀

9.0	<1	十	巨大 - 廣泛地區遭受廣泛破壞，大多數建築
及以上		一	物被摧毀
		至	
		十	
		二	

幅度/強度比較

下表列出了通常在不同震級的震中附近觀測到的強度。

大小	典型的最大 修正墨爾卡里強度
1.0 – 3.0	一世
3.0 – 3.9	II – III
4.0 – 4.9	IV – V
5.0 – 5.9	六至七
6.0 – 6.9	VII – IX
7.0 及更高	VIII 以上

簡化的 Mercalli 強度量表

- I. 除了極少數在特別有利的條件下感覺不到的。
- II. 只有少數人休息時才感到，尤其是在建築物的較高樓層。
- III. 室內人員，尤其是建築物上層的人員，感覺非常明顯。許多人不認為這是地震。站立的汽車可能會輕微搖擺。振動類似於卡車通過。持續時間估計。
- IV. 白天在室內感到很多，在室外感到很少。到了晚上，有些覺醒了。菜，窗，門受到干擾；牆壁發出嘶啞的聲音。像重型卡車撞擊建築物的感覺。站立的汽車明顯晃動。
- V. 幾乎每個人都感到；許多人被喚醒。一些盤子，窗戶破了。不穩定的物體被推翻。擺鐘可能會停止。

- VI. 所有人都感到恐懼。一些沉重的家具搬了出來。石膏掉落的一些實例。損壞輕微。
- VII. 設計和建造良好的建築物中的損壞可忽略不計；精心建造的普通建築物中略至中等；建造不良或設計不良的結構造成相當大的損壞；一些煙囪壞了。
- VIII. 特別設計的結構輕微損壞；在具有部分倒塌的普通堅固建築物中造成相當大的損壞。在結構不良的建築物中造成的破壞很大。煙囪，工廠堆棧，列，古蹟，牆壁的秋天。重型家具被推翻。
- IX. 特別設計的結構會造成相當大的損壞；精心設計的框架結構，鉛垂不散。在堅固的建築物中造成巨大破壞，部分倒塌。建築物從地基上移開了。
- X. 一些精心建造的木結構被毀；大多數磚石和框架結構被地基破壞。鐵軌彎曲。
- XI. 幾乎沒有（磚石）結構保留下來。橋樑被毀。導軌彎曲得很大。
- XII. 總傷害。視線和水平線變形。物體被扔到空中。

果：地震危險性和預測

調查地震的起因，常見位置和危害

您將檢查與地震有關的一些危險。

你會學到什麼

- 確定與地震相關的常見危害。
- 認識到我們預測地震的能力有限。

本節的包括以下內容：

- 地震危險
- 地震預測
- 地震和地震預報
- 自檢：地震危險性和預測

地震危險

地震可能以多種方式危害人類和財產安全。地震危險來自多種因素，例如地震的規模，到震中的距離，底層的材料和地質結構以及建築物的結構。

潛在危險

地面震動

如果未固結的沉積物是細粒且潮濕的，它們可能會液化，從而增加對建築物和基礎設施的破壞，從而增加那裡的地震烈度。如果未固結的沉積物被一層人工填充物覆蓋，與沒有添加人工填充物的地方相比，該區域可能會發生更劇烈的震動，並發生更多的地面沉降，如果潮濕則液化。

墨西哥城是世界上人口最多的城市之一，位於墨西哥山區的一個盆地中。這座城市的大部分地區都是在人工填充物的基礎上建造的，這些填充物來自廣闊的湖泊和濕地的細顆粒沉積物，這些沉積物隨著城市的發展而被排幹並填埋。由於地震波是如何在軟沉積物中放大的，因此在地震中墨西哥城的地面震動大於盆地外，基岩靠近地面的區域的震動。在 1985 年地震中，該地震起源於 300 公里（200 英里）以外的太平洋海岸阿卡普爾科附近，墨西哥城的許多建築物倒塌，超過 2 萬人喪生。

舊金山北部的碼頭區建在人工填充的濕海岸沉積物上。1906 年地震在該地區倒塌或燒毀的建築物產生的瓦礫和碎屑被用作該地區重建期間建造的建築物下方的人工填充物。1989 年，洛馬·普里埃塔（Loma Prieta）地震導致濱海區的幾棟建築物倒塌，幾人喪生。在 Loma Prieta 地震中倒塌的潮濕地面上被人工填充物覆蓋的結構的另一個例子是加利福尼亞奧克蘭的 Cypress 高架橋。下面的 USGS 照片顯示了失敗的支持列。

永久地面位移

在大地震中，地面可能會永久地向上，向下或側向移動到新的位置（在極端情況下，最大可達 10 或更大的 m，30 或 40 ft）。地面位置的這種變化也會使地面傾斜，這可能會導致道路和公用設施的中斷，並且在沿海城市中，還會導致

港口設施的淹沒或出現。甚至不到一米（一英尺或兩英尺）的地面偏移也會對基礎設施造成嚴重破壞。

地球破裂

在大多數地震中，沿著斷層跡線會發生一些地表破裂。這會產生斷層斷層，其垂直位移可能高達幾 m（最大 10 ft 或更多）。這可能會破壞道路和公用事業，並且任何破裂的建築物可能會遭受廣泛破壞。

地震期間的大地破裂也可能發生在次生斷層上。地震引起的地球表面破裂也可能發生在表層沉積物的脆弱區域中，該區域破裂並擴散。如果破裂的表層發生了足夠的擴散，則可以將其分類為滑坡。下面的 NOAA 圖片顯示了 1964 年阿拉斯加大地震對 Turnagain-By-The-Sea 分區造成的嚴重破壞。

滑坡和雪崩

在陡峭的山坡和山區，大地震可引發許多滑坡，崩塌或雪崩。這些會損壞滑坡路徑中的建築物，城鎮或道路。

液化

如果細顆粒或中顆粒的未固結沉積物被地下水飽和，地震期間發生的震動可能會導致沉積物顆粒彼此失去接觸並懸浮在水中，從而將固體地面暫時變為液體地面。建築物和其他結構可能會在液化地面中下沉，傾斜或滑動很短距離，從而造成嚴重損壞。

著火

火災是地震的次要而不是主要的影響。斷裂的電線和天然氣管道通常在地震期間引起火災。使問題更加複雜的是，地震破壞也可能中斷供水，使得不可能用消火栓中的水撲滅大火。1906 年舊金山大地震造成的大火燒毀了這座城市的大部分土地，對建築物造成的破壞比地震期間的地面震動更大。

海嘯

海嘯是指海洋（或大湖）中波長非常長的一組波，通常超過 100 公里。海嘯每小時在深水中移動數百公里。海嘯可能會因海平面以下爆發的劇烈火山噴發，水下發生或從沿海山脈滑入海中的巨大滑坡，巨大的隕石撞擊以及最常見的震撼海底的地震而引起，通常發生在俯衝帶。

在大海中，單個海嘯波的振幅或波峰高度可能只有大約 1 m（大約 3 英尺高）。海嘯在不引起注意的情況下在海上越過船隻是很常見的。但是，隨著海浪靠近底部逐漸變淺的海岸，波峰的高度高達幾十米（在某些情況下超過 30 英尺）。在沉降之前，波峰可能會衝上岸幾分鐘。甚至不超過 3 m（10 英尺）的海嘯上岸也會對港口和海岸造成廣泛的破壞，因為長波不斷湧入幾分鐘。

海嘯由不止一個波浪組成，因此第二個波浪的波峰可能會在幾分鐘後爬上岸。某些海嘯導致海浪滑落，因此，當海嘯類型接近海岸時，首先注意到的是大海的巨大缺陷或退縮，就像潮水突然湧出一樣。這樣的缺點將不可避免地伴隨著海嘯波峰的上升。

2004 年蘇門答臘地震造成的海嘯在印度洋沿海地區造成 100,000 多人喪生，其中一些人位於地震震中幾千公里（幾千英里）的海岸上。1964 年阿拉斯加東南部發生的大地震引發了海嘯，在距離俄勒岡州海岸和加利福尼亞北部 1000 多公里（600 英里）的地方，有 16 人喪生。眾所周知，海嘯橫穿整個太平洋，並在世界範圍內造成死亡的三分之一。在過去的幾個世紀中，太平洋中部的夏威夷因環太平洋的俯衝地震而遭受海嘯破壞。日本擁有一系列複雜的俯衝帶，其東部海岸線通向太平洋，在其記錄的歷史中經歷了 100 多次海嘯，最近一次是由於 2011 年北部島嶼海域發生大的俯衝地震，導致多個沿海城鎮被毀，成千上萬人喪生。卡斯卡迪亞俯衝帶沿著西北太平洋海岸產生的最後一次海嘯淹沒了華盛頓，俄勒岡州北加利福尼亞和加拿大溫哥華島等沿海地區。它發生在 1701 年，比該地區現在的人口居住地早得多。卡斯卡迪亞俯衝帶的俯衝繼續進行，預計未來那裡的地震會產生更多海嘯。卡斯卡迪亞俯衝帶沿著西北太平洋海岸產生的最後一次海嘯淹沒了華盛頓特區，俄勒岡州北部加利福尼亞和加拿大溫哥華島等沿海地區。它發生在 1701 年，比該地區現在的人口居住地早得多。卡斯卡迪亞俯衝帶的俯衝繼續進行，預計未來那裡的地震

會產生更多海嘯。

減輕地震破壞

在減少地震中死亡的風險，減少對建築物和基礎設施的破壞方面，可以做很多工作；換句話說，以減輕地震的影響。

在許多情況下，倒塌的建築物在地震中造成的傷害最大。建築物的建造方式應使其不會在地震中倒塌。工程師開發的策略包括在結構中具有足夠的柔韌性，以吸收地震中的震動。磚，砂漿和混凝土堅硬易碎。但是，可以用鋼加固磚瓦，水泥和砂漿，使其更能抵抗地震。木材和鋼鐵比磚，灰漿和混凝土更具柔韌性，並且適合於按規範正確設計和建造的建築物類型，該建築物很可能在地震中倖存而不會坍塌。

在地震設計中，重要的考慮因素是建築物與基礎的連接方式以及基礎如何錨固在地下。基於假定房屋的重量會使房屋保持在基礎上的假設，許多在 1900 年代初期和中期在加利福尼亞建造的房屋都沒有固定在其基礎上。事實證明這是一個錯誤的假設。地震使房屋從地基上滑落。該州的許多房主已採取措施，以確保他們的房屋現在已固定在地基上。如果房主購買了地震保險，那麼保險公司通常會要求他們購買地震保險。在地震多發地區建造的大型建築物或摩天大樓通常會具有很大的靈活性，

地震發生時，可以安全地建造基礎設施（道路，橋樑，公用事業）。這包括設計成可在其支撐件上來回滑動的天然氣管道，以及具有可由自動傳感器，具有類似的靈活性和關閉能力的電線和電網激活的內置截止閥，以及為實現此目的而修建的道路，立交橋和橋樑承受地震時的震動。

制定和執行旨在降低地震風險的建築法規通常需要貧困地區無法獲得的資源。與世界其他地區相比，這導致建築物在相同規模的地震中倒塌的可能性更高。

地震預測

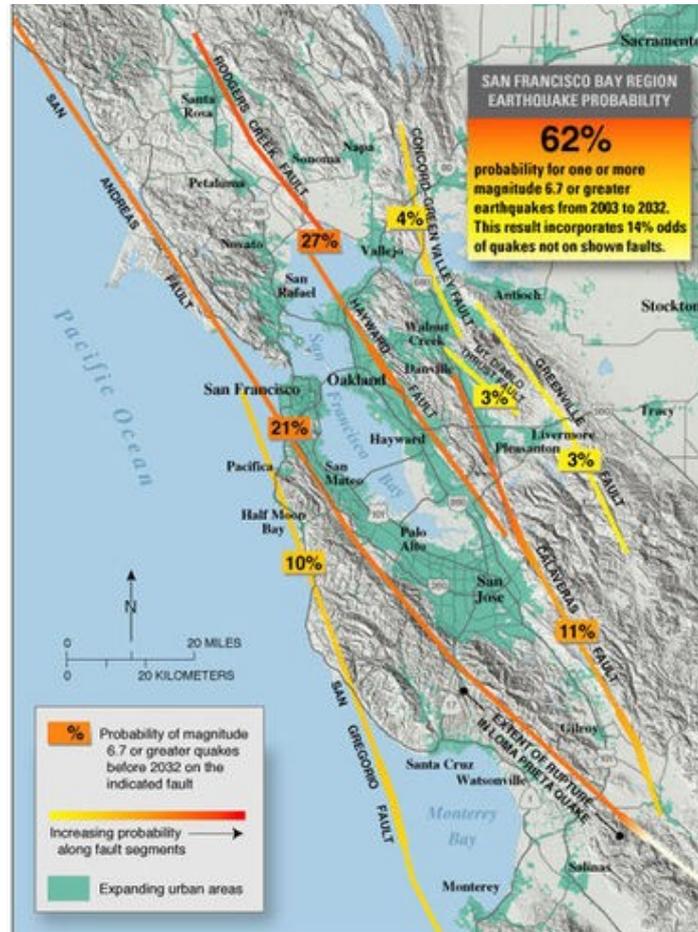


圖 1.在 2003 年（完成工作時）至 2032 年之間，舊金山地區各種斷層發生地震的概率。

科學家距離能夠預測地震還有很長的路要走。一個好的預測必須準確地確定地震發生的地點，發生的時間以及震級，以便人們能夠撤離。不必要的疏散是昂貴的，並且使人們在下次訂購疏散時不相信當局。

地震發生的位置是最容易預測的特徵。科學家們知道地震發生在板塊邊界，並且往往發生在地震發生之前的地方（圖 1）。容易發生地震的社區應始終為地震做好準備。這些社區可以實施建築法規以使結構抗震。

地震何時發生將很難預測。由於隨著時間的推移，斷層上的應力會以相同的速率累積，因此應定期發生地震（圖 2）。但是到目前為止，科學家們甚至無法預測地震發生的時間，甚至幾年之內。

有時在大地震之前有跡象。小地震被稱為前震，有時在大地震發生幾秒鐘到幾週之前發生。但是，許多地震沒有前兆，小地震並不一定要發生大地震。通常，

斷層周圍的岩石會隨著微裂縫的形成而膨脹。由岩石中的應力積累引起的地面傾斜可能在大地震之前發生，但並非總是如此。地震前，井中的水位會隨著裂縫的移動而波動。這也是大地震的不確定因素。在地震發生之前，P波和S波的相對到達時間也減少了。

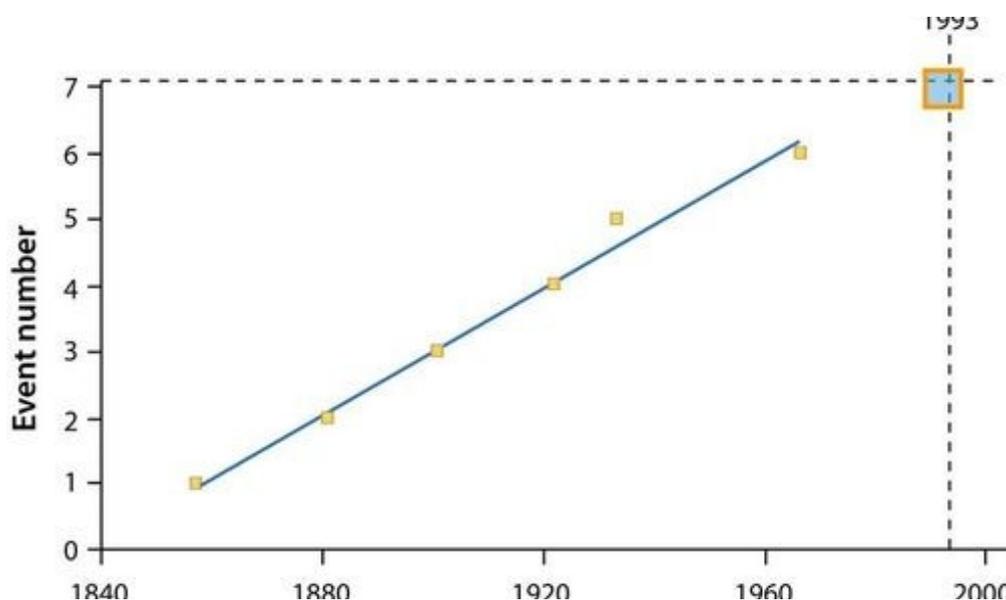


圖 2.加利福尼亞州帕克菲爾德市周圍，大約每 22 年發生 6.0 級或更高的地震。因此，地震學家預測，1993 年會發生地震，但地震發生在 2004 年-遲了 11 年。

民俗學告訴人們地震前動物的行為異常。這些軼事大多是在地震後得知的。如果確實動物能夠感覺到地震或海嘯帶來的危險，科學家們將不知道它們可能感知到的是什麼，但他們想找出答案。

地震和地震預報

地震學是對特定區域地震發生的頻率，該區域發生哪種類型的地震及其原因的研究。

在美國，地震最頻繁的地區是加利福尼亞，俄勒岡和華盛頓的海岸，南部海岸和阿拉斯加的夏威夷阿留申群島，夏威夷以及從落基山脈到太平洋海岸的西部山脈。美國中部和東部很少經歷大地震。

在地圖上彙編的地震震中顯示，在全球範圍內，大多數地震發生在太平洋沿岸，從中國到中東的南亞山區以及地中海地區。地震震中還追蹤了橫跨海洋各層的洋中脊。

由於幾乎所有地震都發生在斷層上，因此要確定更精細的地震風險，主要包括

識別，映射和研究每個州或地區的活動斷層。但是，許多活動斷層被隱藏了，要么是由於它們在地表形成的任何陡坡都被沉積物，土壤和植被侵蝕或覆蓋了，要么是因為它們是盲斷層。在隱伏斷層上發生一次或多次重大地震，並研究了地震波以確定其位置和斷層運動類型之後，往往無法識別和定位隱伏斷層。

用於確定區域地震活動性的信息包括：

- 根據以下推論得出的過去地震發生的頻率：
 - 歷史記錄
 - 考察史前地震記錄證據的地質研究
- 已知活動故障的位置
- 收集該地區最近發生的地震的地震數據
- 就板塊邊界而言，該區域的構造背景，以及附近板塊邊界的信息
- 根據 GPS 設備的測量結果以及在井眼中進行的應力和應變測量，該地區的地殼承受的應力和應變
- 該區域的地下地質層和結構基於地質製圖的橫截面，鑽探數據以及地殼和地幔深層的遠程成像

基於此信息，可以對特定區域的地震風險進行統計量化。例如，可以針對特定地震帶估計下個世紀或未來 10 年發生大地震的機率。

但是，還沒有科學的方法可以準確預測下一個特定區域的下一次地震發生的時間，發生的地點或震級。科學家已經研究過使用可能的地震前指標，例如地面傾斜，井水位變化，斷裂帶附近地下水中 ra 氣的變化，斷裂帶周圍土壤電導率的變化，地震活動的變化或模式等。即使不是人類所感覺到的，也可以通過地震儀進行測量，並且根據眾多在很大程度上未經證實的軼事，奇怪的動物行為發生在地震之前。但是，到目前為止，還沒有發現這些類型的數據能導致可靠的地震預測。

人們還研究了地震與月球相位，地震與一天中的時間（例如，太陽初次照射在地面上的黎明）之間的相關性，等等。在地震和其他類型的現象之間沒有發現任何联系。

就目前對地震活動的研究而言，我們可以確定未來幾十年和幾個世紀內地球上哪些地區將遭受大地震，我們可以勾勒出地球上哪些地區受到最強烈地震的威脅，並繪製出沿海地區的地圖。最有可能被海嘯淹沒，但我們無法提前確定下一次大地震的日期或位置。

小結：地震

概要

只是為了回顧一下，在本節中，我們仔細研究了地震。我們記錄了以下內容：

1. 什麼是地震波以及如何產生
2. 不同類型的地震波及其特徵
3. 如何使用地震波在地球內部給我們一個峰值
4. 地震的成因和發生地點
5. 測量地震的不同方法
6. 不同的材料如何響應地震
7. 科學家無法準確預測地震

合成

我敢肯定，至少有些研究地震的原因不用說。地質學家研究地震，以便他們可以更好地了解地震的原因，進而有助於未來的預測。目前，預測地震的能力很小。地質學家對地震期間地面和不同物質如何運動感興趣。所有這些信息可幫助科學家和工程師了解建造抗震結構所需的條件。如本節開頭的視頻所示，與地震相關的危險是最危險和最致命的危險。

那麼，為什麼加利福尼亞和日本會發生如此多的地震？加利福尼亞位於聖安德烈亞斯斷層（眾多斷裂之一）上，這是不斷變化的轉換板塊邊界的一部分。以日本為例，如果您回顧一下板塊構造圖，您會發現日本位於三個不同構造板塊的上方，並且它們以不同的方式運動。我們現在知道，這種運動是地震的主要原因。隨著我們繼續更多地了解地震，也許下一次 9.0 級地震將不會造成那麼多破壞或造成那麼多生命。

地震

在此評估中，您將閱讀和解釋各種地震圖以確定地震的位置。您還將確定地震的強度。完成後，將為您提供結業證書，使您成為虛擬地震學家。記住要訪問頁面底部的提示和命中。

基本要求（分配標準）：

1. 轉至 [虛擬地震（鏈接到外部網站。）](#) 從地質實驗室的網站上線。
2. 選擇一個“經歷”地震的位置。

3. 閱讀下一頁，了解如何根據地震圖確定 PS 波的時間間隔。
4. 在下一頁上，您將查看三個不同的地震圖。確定每個地震圖上從 P 波到 S 波到達的時間差，並將其輸入框內。
5. 單擊轉換按鈕轉到下一頁。
6. 使用底部圖獲得震中距離。例如，如果您聲明 SP 間隔為 35 秒，則您會在垂直 (y 軸) 上找到 35 秒，然後沿它一直走直到它與對角線相交。然後將您的直線筆直向下繪製到水平線 (x 軸) 以獲取距離。在這種情況下，35 秒轉換為 340 Km。另一個示例是 51 秒是 500 Km。您將在右側的框中輸入這些值。
7. 單擊查找震中。根據您的工作表現，您可以重新輸入數據以重試，或者如果您接近的話，請單擊“查看 True Epicenter”。
8. 當您靠近時，請單擊“查看真實震中”，查看距真實震中有多近。拍攝兩張圖片的屏幕截圖，並將其保存以備後用。
9. 單擊計算里氏震級。閱讀幅度的說明，然後轉到下一頁。閱讀有關列線圖及其使用方法的信息。
10. 轉到下一頁，並完成有關幅度的問題。單擊提交，然後轉到數據的列線圖。
11. 回答幅度估計，然後單擊確認幅度。如果您成功了，將會有一個屏幕祝賀您。
12. 填寫獲取證書的必要信息，請確保不要通過電子郵件將副本發送給我。單擊獲取證書，您將看到綠色的證書和圖表。
13. 截屏並保存以供以後使用。
14. 打開 Word 文檔，然後插入地震位置的圖片（兩張並排的圖片）以及結業證書和圖表的圖片。調整它們以適合一頁。

在同一頁面上回答以下問題：

1. 根據地震的位置和震級，推測地震可能造成的破壞類型。
2. 現在將其與 Mercalli 強度量表進行比較。根據這個尺度，您的地震是什麼分類？
3. 不同的波 (P, S 和 麵波) 如何幫助您確定震中和造成的破壞程度？
4. 您所在的地區容易發生地震嗎？推測可能造成這次地震的原因 (具體而言)。
5. 為什麼地質學家很難預測何時何地發生地震？
6. 您可以在地震波的行為與地球內部之間建立什麼聯繫？
7. 提交之前，請確保您的姓名在文檔中。