

韋格納與大陸漂移假說

科學家似乎仍未充分理解，所有地球科學都必須為早日揭示地球狀況提供證據，而且只有結合所有這些證據才能得出問題的真相。。。。只有結合所有地球科學提供的信息，我們才能希望在這裡確定“真相”，也就是說，找到以最佳排列方式列出所有已知事實的圖片，從而使它們具有最高的準確性。概率度。此外，我們必須時刻做好準備，以使每個新發現（無論採用何種科學手段）都可能修改我們得出的結論。

—阿爾弗雷德·韋格納（**Alfred L. Wegener**），《大洋和海洋的起源》，於 1915 年首次出版。

韋格納（**Wegener**）收集了大量的證據，表明各大洲已經合併。他主張利用科學證據找到“真相”。作為他的同事，您相信嗎？讓我們來探索。

韋格納的大陸漂移假說



圖 1.阿爾弗雷德·韋格納（**Alfred Wegener**）認為，大陸漂流是在大陸穿過海床時發生的，這與該破冰船在海冰中犁過的方式相同。

韋格納在 1915 年首次出版的《大洲和海洋的起源》一書中將他的想法和證據結合在一起。在此後的十年中，出版了帶有附加證據的新版本。他在書中說，大約 3 億年前，各大洲都被合併為一個單一的大陸，他稱之為 **Pangaea**，在古希臘語中意為“全地”。後來，超大陸解體了，從那時起，各大洲就一直搬到現在的位置。他稱其假設為**大陸漂移**。

假設問題

韋格納的想法在當時顯得如此古怪，以至於他被其他科學家嘲笑。您認為問題是什麼？對他的同事來說，他最大的問題是他對於各大洲如何穿越海洋沒有一個合理的機制。根據他的極地經驗，韋格納認為這些大陸就像破冰船在冰蓋上翻滾。大陸在離心力和潮汐力的作用下移動。作為 **Wegener** 的同事，您將如何展示這些力量是否可以移動各大洲？您希望在這些大陸上看到哪些發現？



圖 2.早期的假設提出，離心力使大陸移動。這與在狂歡節旋轉中將鞦韆向外移動的力相同。

當時的科學家計算得出，離心力和潮汐力太弱，無法移動大陸。當一位科學家進行計算時假設這些力量足以移動大陸時，他的結果是，如果地球擁有如此強大的力量，行星將在不到一年的時間內停止旋轉。此外，科學家們還認為，在海洋中翻滾的大陸應該比它們變形得多。

韋格納回答了他的問題，即非洲和南美是否曾經加入。但是，如果沒有一種機制來推動這一假設，那麼該假設幾乎不會被接受。您要支持 **Wegener** 嗎？很少有科學家這樣做，因為他的假設很好地解釋了海洋相反兩側的相似化石和岩石，但大多數人沒有。

地幔對流

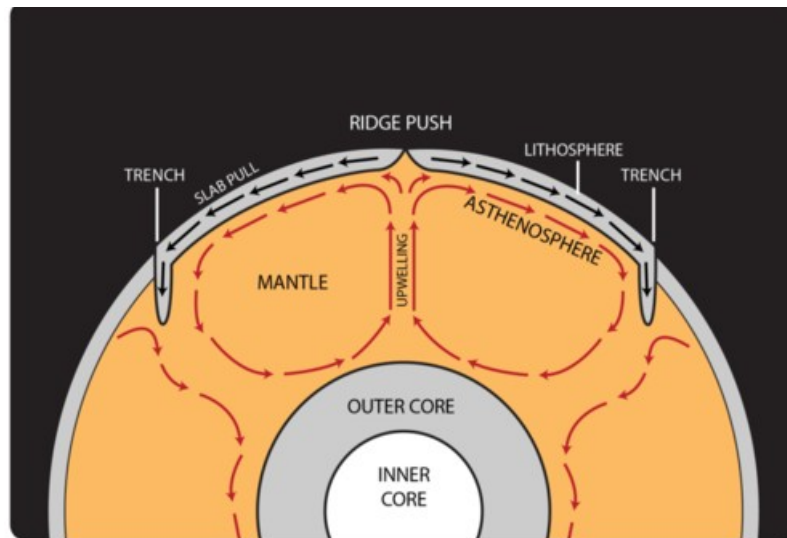


圖 3.熱對流發生在深地幔中的熱岩石向地球表面上升時。然後，這塊岩石散開並冷卻，向核心下沉，在此處可以再次加熱。岩石通過地幔的這種循環產生對流單元。

韋格納對大陸漂移背後的驅動力有很多想法。韋格納的另一位同事亞瑟·霍爾姆斯（Arthur Holmes）詳細闡述了韋格納的想法，即地幔中存在熱對流。

在對流池中，表面深處的材料被加熱，從而密度降低而上升。在地表附近，它變得涼爽且緻密，因此下沉。福爾摩斯認為這可能像傳送帶。在兩個相鄰的對流單元上升到地面的情況下，一個大陸可能會破裂，碎片朝相反的方向移動。儘管這聽起來像是個好主意，但也沒有任何確鑿的證據。

阿爾弗雷德·韋格納（Alfred Wegener）於 1930 年在格陵蘭冰蓋探險隊中去世。在很大程度上，大陸漂移的想法被擱置了幾十年，直到技術的進步提供了更多有關大陸運動的證據，並為科學家提供了開發韋格納漂移大陸機制的工具。由於您正在進行虛擬實地考察，因此您也將與他們一起生活。

概要

- 阿爾弗雷德·韋格納（Alfred Wegener）發表了他的想法，即大約 3 億年前，大陸已經成為一個大陸，他稱之為 Pangaea。
- 韋格納的想法大都被嘲笑，部分原因是韋格納無法為大陸穿過洋殼移動建立合理的機制。
- 計算表明，他關於為大陸提供動力的離心力和潮汐力的想法是不正確的。

- 韋格納還考慮了地幔對流，這一點由亞瑟·霍爾姆斯（Arthur Holmes）提出，是大陸漂移的驅動力。當時沒有證據支持該想法。

板塊構造理論

批判和解釋支持板塊構造理論的主要證據類型。

板塊構造學是現代地質學中最重要的概念。本節將向您介紹板塊構造學的概念，它的工作原理，為什麼重要，以及它如何塑造當今的世界。

你會學到什麼

- 描述並比較不同類型的印版運動，運動速率以及每種運動涉及的驅動機制和作用力。
- 知道技術在板塊構造中的作用。

本節的包括以下內容：

- 板塊構造理論
- 發展理論
- 自檢：板塊構造理論

板塊構造理論

當海底擴散概念出現時，科學家們意識到這是解釋各大洲如何在地球表面移動的機制。像我們之前的科學家一樣，我們現在將大陸漂移和海底擴散的思想融合到板塊構造理論中。

觀看有關[大陸漂移和海底擴散機制的視頻](#)，[從而形成板塊構造](#)。

地球的構造板塊

海底和大陸在地球表面四處移動，但實際上在移動什麼？地球的哪個部分構成了板塊構造的“板塊”？之所以回答這個問題，是因為戰爭時期開發了技術，

在本例中是冷戰。該板是由岩石圈起來。

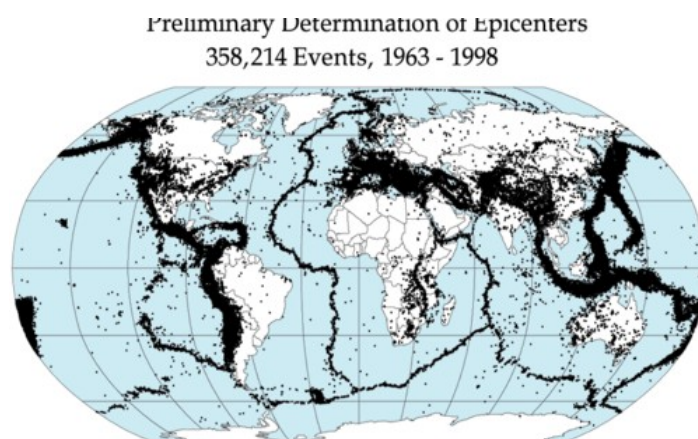


圖 1.地震概述了板塊。

在 1950 年代和 1960 年代初，科學家建立了地震儀網絡，以查看敵國是否正在測試原子彈。這些地震儀還記錄了地球上所有的地震。地震記錄可用於定位地震的**震中**，即地震發生地點正上方的地球表面上的點。

地震震中勾勒出板塊輪廓。中洋海脊，海溝和大型斷層標誌著板塊的邊緣，這就是地震發生的地方（圖 1）。

岩石圈分為十二個主要板塊和幾個次要板塊（圖 2）。可以通過連接標記地震震中的點來繪製板塊的邊緣。單個板塊可以由所有海洋岩石圈或所有大陸岩石圈組成，但幾乎所有板塊都是由兩者的組合製成。

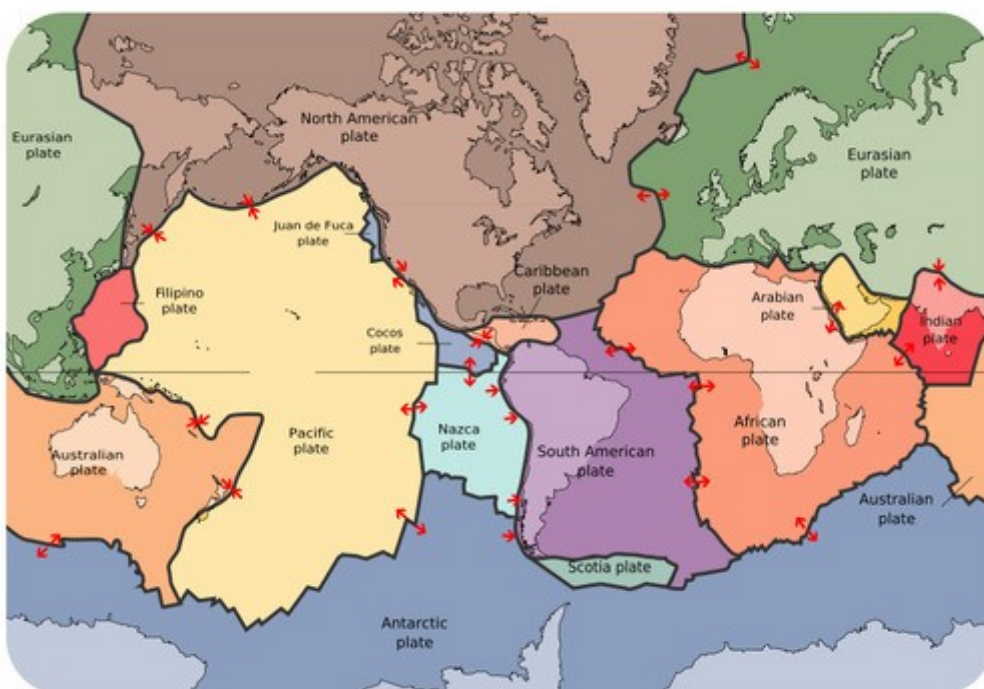


圖 2.岩石圈板塊及其名稱。箭頭表示板是分開移動，一起移動還是彼此滑過。

板塊在地球表面的運動稱為**板塊構造**。平板每年以幾厘米的速度移動，指甲以相同的速度增長。

板塊如何移動

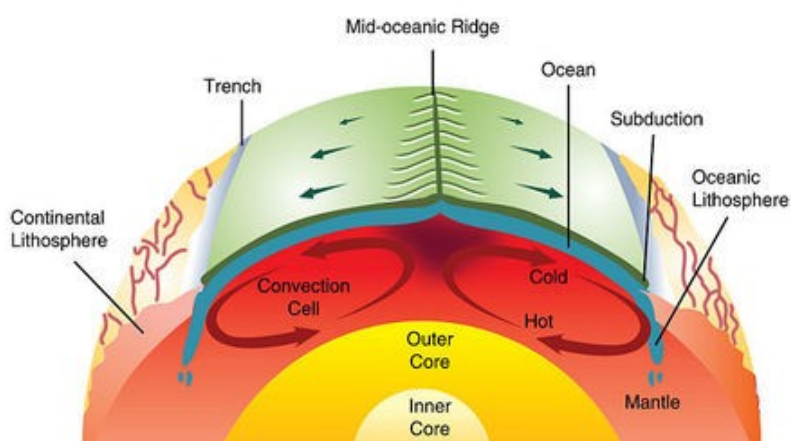


圖 3.地幔對流驅動板塊構造。熱物質在中海脊上升，並在深海海溝下沉，使板塊沿地球表面移動。

如果海底擴散驅動板塊，那麼什麼驅動海底擴散？在地幔中並排顯示兩個對流單元，類似於圖 3 中的圖示。

1. 來自兩個相鄰單元的熱幔在脊軸上升，形成新的洋殼。
2. 對流室的上肢與新海底一樣，也從脊頂水平移動。
3. 對流單元的外肢向下陷入更深的地幔中，也拖曳了洋殼。這發生在深海海溝。
4. 物料沉入芯子並水平移動。
5. 物料加熱並到達再次上升的區域。

看看這個[地幔對流的動畫](#)，並觀看此視頻：

板邊界

板邊界是兩個板相遇的邊緣。大多數地質活動，包括火山，地震和山區建築，都發生在板塊邊界。兩個板如何相對移動？

- **板塊邊界不同**：兩個板塊彼此遠離。
- **收斂的板塊邊界**：兩個板塊朝彼此移動。
- **變換板塊邊界**：兩個板塊相互滑過。

板塊邊界的類型和在邊界的每一側發現的地殼的類型決定了在那裡將發現哪種地質活動。

發散板邊界

板塊在形成新海底的中海脊移動。在兩個板塊之間是裂谷。熔岩在地表流動迅速冷卻，變成玄武岩，但在地殼深處，岩漿冷卻較慢，形成輝長岩。因此，整個山脊系統都是由火成岩構成的，該岩屑既可以是擠壓岩，也可以是侵入岩。由於岩漿和洋殼的運動會導致地殼震動，因此在洋中脊普遍發生地震。絕大多數中洋海脊都位於海底深處（圖4）。

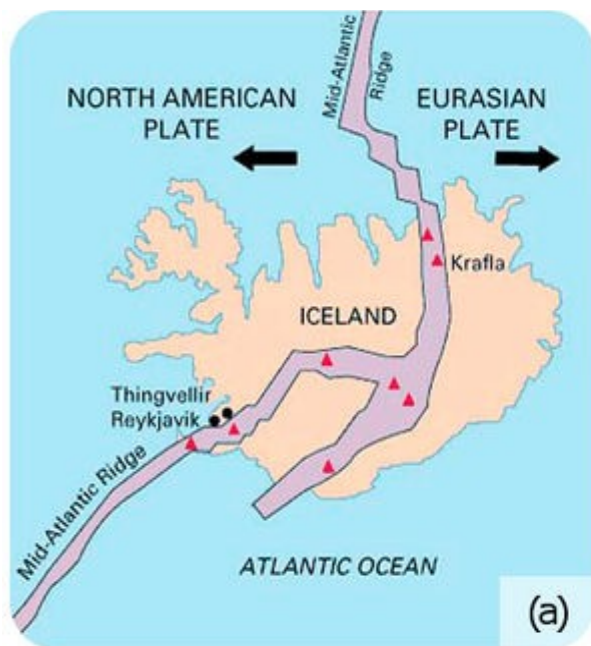


圖 4. (a) 冰島是山脊位於陸地上的一個位置：中大西洋海嶺將北美和歐亞板塊分隔開來；(b) 冰島中大西洋中部的裂谷。



圖 5. 阿拉伯，印度和非洲板塊正在裂開，形成了非洲的大裂谷。死海使海水充滿裂谷。

查看以下動畫：

- [大洋中脊的板塊邊界](#)
- [發散板邊界](#)

大陸內部會出現不同的板塊邊界嗎？結果是什麼？**失禁裂谷**（圖 5），岩漿上升到大陸下方，使其變薄，破裂並最終分裂。虛空中爆發出新的洋殼，在各大洲之間形成了一片海洋。

會聚板邊界

當兩個板塊匯聚時，結果取決於板塊的岩石圈類型。無論如何，將兩個巨大的岩石圈板塊一起砸碎會導致岩漿生成和地震。

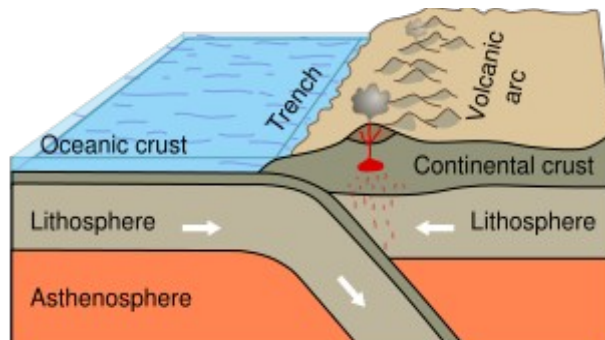


圖 6.在大陸板下方俯衝洋板引起地震，並形成了一條被稱為大陸弧的火山線。

海洋大陸

當大洋地殼與大陸地殼匯合時，密度較大的洋洋板塊便會在大陸板塊下俯衝。這個過程稱為**俯衝**，發生在海溝中（圖 6）。整個區域被稱為**俯衝帶**。俯衝帶有很多強烈的地震和火山噴發。俯衝板使地幔融化。岩漿上升和噴出，形成火山。在俯衝板塊上方的一條線中發現了這些沿海火山山脈（圖 7）。火山被稱為**大陸弧**。

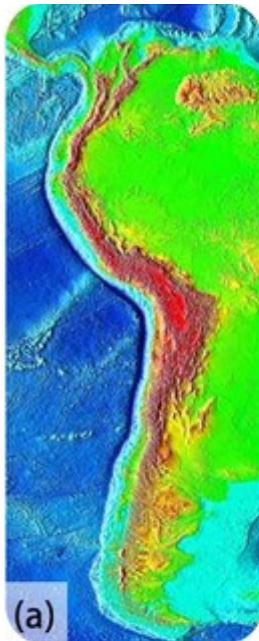


圖 7. (a) 在南美西部邊緣的海溝裡，納斯卡板塊在南美板塊之下俯衝，形成了安第斯山脈（棕色和紅色高地）；
(b) 匯聚推高了火山頻繁的安第斯山脈的石灰岩。

地殼和岩漿的運動會引起地震。看看這張 [俯衝帶地震震中的地圖](#)。這個動畫顯示了 [岩石圈俯衝與火山弧形成之間的關係](#)。

加利福尼亞東北部的火山（拉森峰，沙斯塔山和梅迪奇湖火山）以及西北太平洋喀斯喀特山脈的其餘火山都是北美板塊下方胡安·德富卡板塊俯衝的結果（圖 8）。胡安·德富卡板塊是由海底散佈在胡安·德·富卡山脊上的海底產生的。

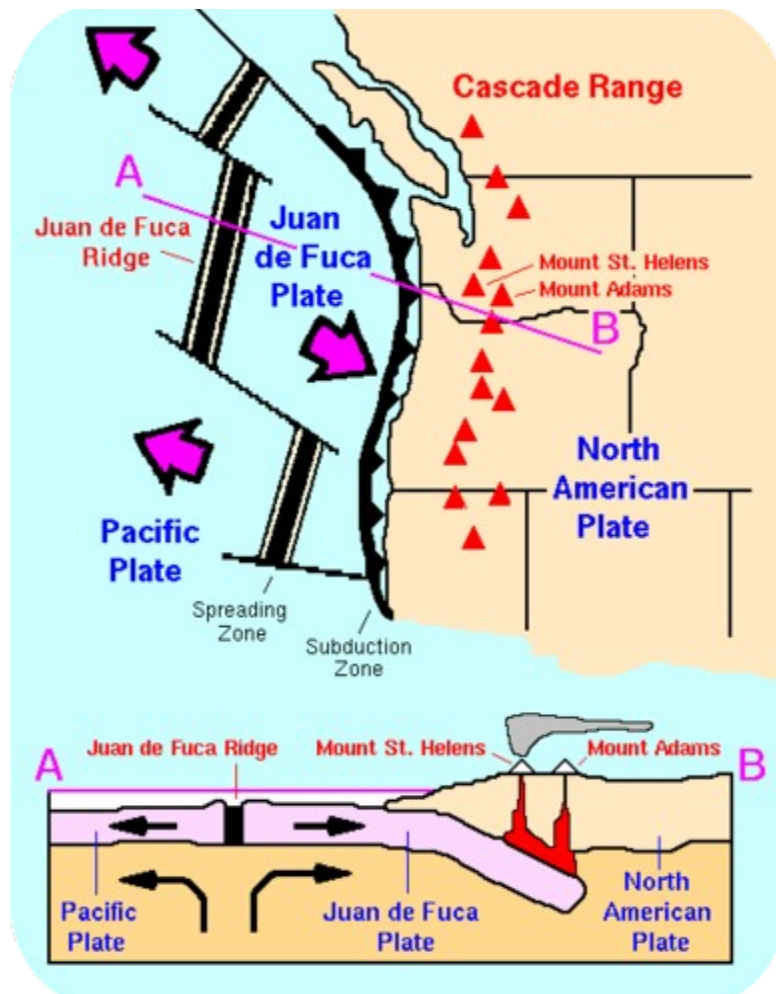


圖 8. 西北太平洋的喀斯喀特山脈是大陸弧。

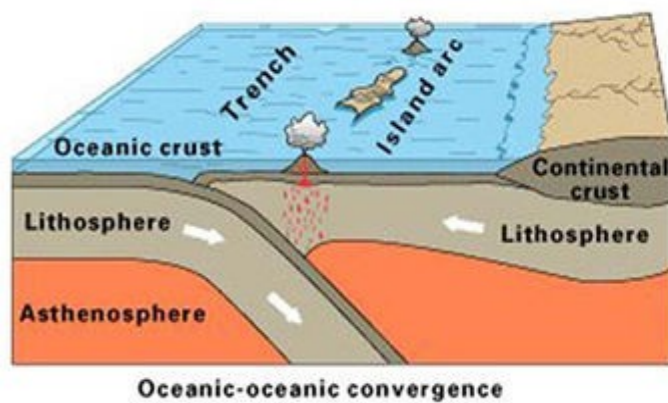
如果大陸弧上的岩漿是長岩質，那麼它可能太粘稠（稠密）而無法通過地殼上升。岩漿將緩慢冷卻以形成花崗岩或花崗閃長岩。這些較大的侵入性火成岩體被稱為**岩床**，有朝一日可能會被抬升形成山脈（圖 9）。



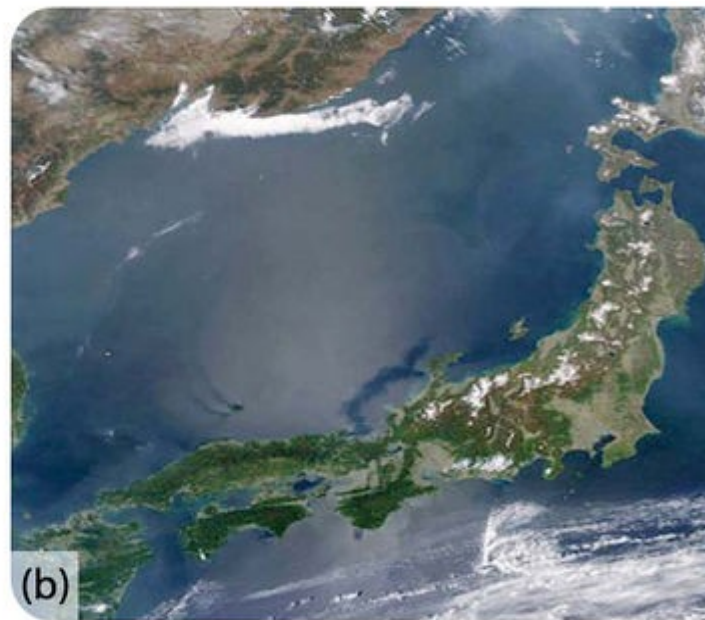
圖 9.大約 2 億年前，內華達山脈的岩床在火山弧下冷卻。在惠特尼山，岩石很裸露。今天的安第斯山脈和喀斯喀特山脈下可能形成類似的岩床。

大洋洋

當兩個大洋板塊匯合時，年齡更大，密度更大的板塊將俯衝到地幔中。海洋 trench 溝標誌著板塊被向下推入地幔的位置。在上部海洋板塊上生長的火山線是島弧。您認為這些地區常見地震嗎（圖 10）？



(a)



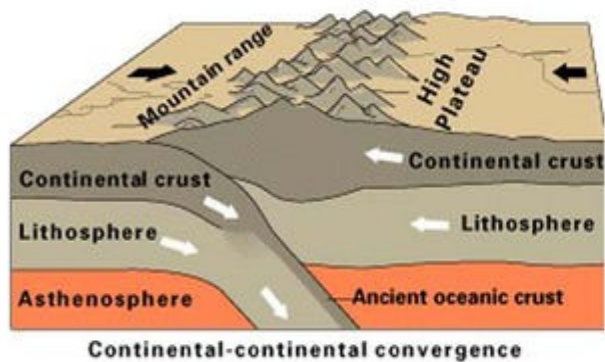
(b)

圖 10. (a) 在海底之下俯衝海底會導致火山島弧，海溝和許多地震。(b) 如這張衛星圖所示，日本是由亞洲大陸以外的火山組成的弧形島弧。

看看這個 [海洋大陸板塊邊界的動畫](#)。

大陸-大陸

大陸板塊太浮了，無法俯衝。大陸物質碰撞時會發生什麼？由於無處可走，因此形成了一些世界上最大的山脈（圖 11）。儘管岩漿停留在地殼中，但岩漿無法穿透這種厚的地殼，因此沒有火山。由於大陸殼經歷的應力，變質岩很常見。隨著巨大的地殼板塊一起粉碎，大陸與大陸之間的碰撞引發了無數大地震。



(a)



(b)

圖 11. (a) 在大陸-大陸交匯處，板塊向上推動以形成高山脈。(b) 從國際空間站的這張照片可以看出，喜馬拉雅山是世界上最高的山脈，是印度板塊與歐亞板塊碰撞的結果。

看看這個[印度板塊與歐亞板塊碰撞的](#)簡短動畫。

觀看喜馬拉雅山崛起的動畫。

阿巴拉契亞山脈是北美大約 2.5 億年前猛衝歐亞大陸時形成的一個大山脈的殘餘物。

變換板邊界



圖 12.在加利福尼亞州的聖安德烈亞斯斷層，太平洋板塊相對於向東南移動的北美板塊向西北滑動。在圖片的北端，變換邊界變成俯衝帶。

變形板塊邊界被視為**變形斷層**，其中兩個板塊以相反的方向彼此移動。大陸上的變形斷層帶來了大地震（圖 12）。

加州的地質活動十分活躍。加利福尼亞內或附近的三個主要板塊邊界是什麼（圖 13）？

1. 太平洋板塊和北美板塊之間的轉換板塊邊界形成了聖安德烈亞斯斷層，這是最臭名昭著的轉換斷層。
2. 就在離岸區域，胡安德富卡山脊形成了發散的板塊邊界，形成了胡安德富卡板塊。
3. 胡安德富卡海洋板塊與北美大陸板塊之間的會聚板塊邊界形成了卡斯卡德斯火山。

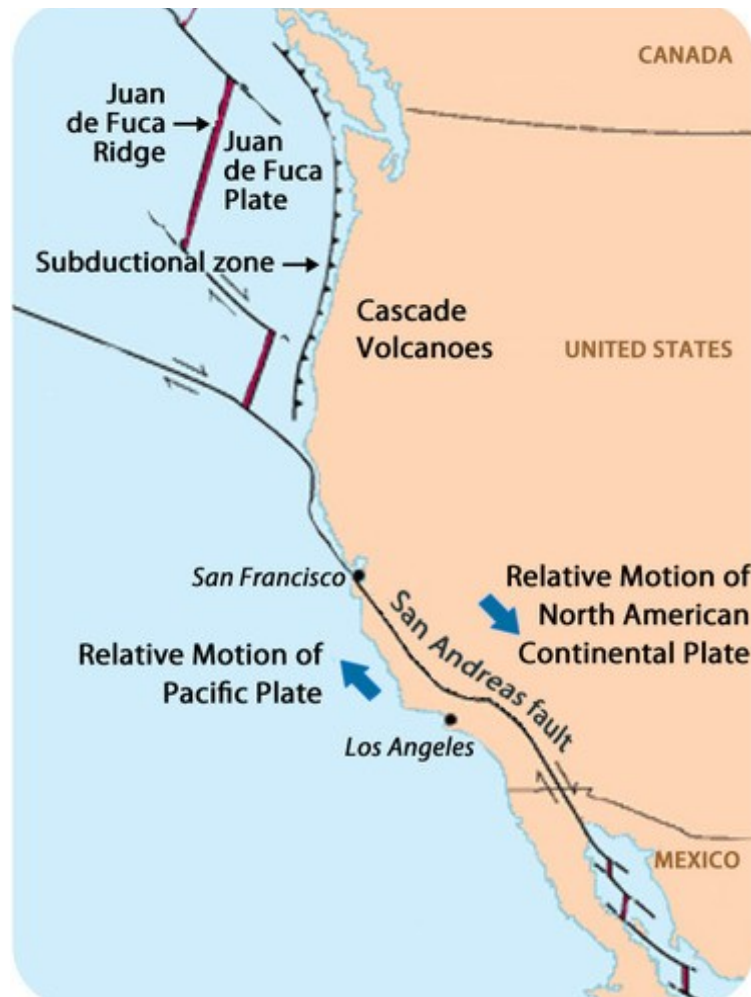


圖 13.該圖顯示了加利福尼亞州或其附近的三個主要板塊邊界。

此無字視頻的主題是對三種類型的板邊界和所發現結構的簡要回顧。

地球變化的表面

地質學家知道韋格納是正確的，因為各大洲的運動解釋了我們所看到的地質情況。我們今天在地球上看到的大多數地質活動是由於移動板塊的相互作用。



圖 14.北美山脈。

在北美地圖中（圖 14），山脈在哪裡？使用您對板塊構造學到的知識，嘗試回答以下問題：

1. 喀斯喀特山脈的地質起源是什麼？喀斯喀特山脈是西北太平洋的一連串火山。它們未在圖中標出，但位於內華達山脈和沿海山脈之間。
2. 內華達山脈的地質起源是什麼？（提示：這些山脈是由花崗岩侵入物構成的。）
3. 美國東部阿巴拉契亞山脈的地質起源是什麼？



圖 15.大約 2 億年前，北美東部的阿巴拉契亞山脈可能曾經與喜馬拉雅山一樣高，但是自從潘蓋亞解體以來，它們已經遭受了風化和侵蝕。

請記住，韋格納使用大西洋西側和東側的山脈相似性作為他的大陸漂移假設的證據。當 **Pangea** 匯聚在一起時，阿巴拉契亞山脈在匯聚的板塊邊界處形成（圖 15）。

在 **Pangea** 聚在一起之前，這兩個大陸被大西洋所分隔。隨著太平洋的發展，原始大西洋的海洋萎縮了。目前，隨著大西洋的發展，太平洋地區正在萎縮。這個 **超大陸週期**負責我們看到的大多數地質特徵，以及許多已經消失的地質特徵（圖 16）。

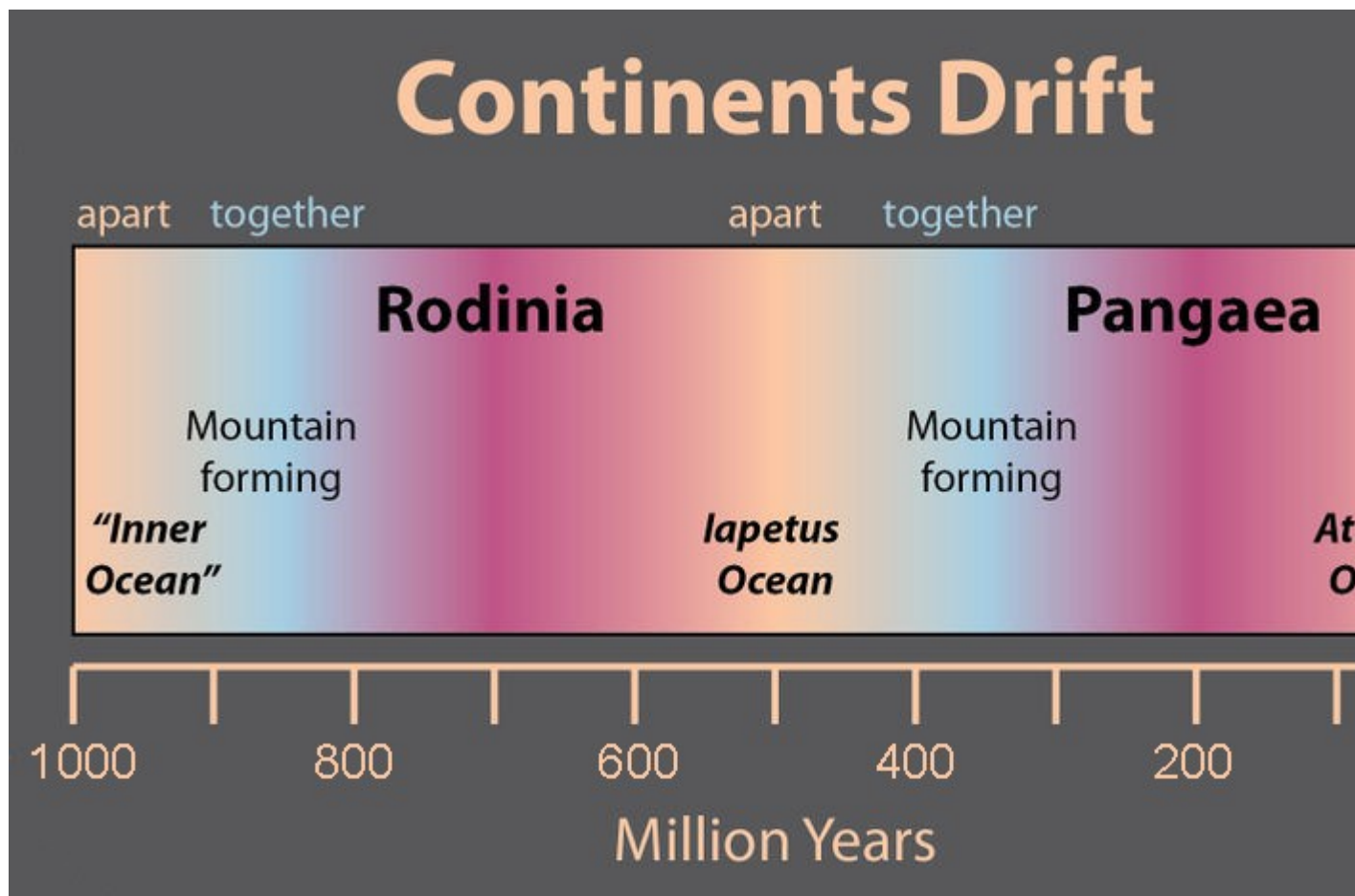


圖 16.科學家認為，超大陸的創建和分裂大約每 5 億年發生一次。在 Pangea 之前的超大陸是 Rodinia。隨著太平洋的消失，將形成新的大陸。

該動畫顯示了從羅丹尼亞解體開始的過去 6 億年裡各大洲的運動。

課程總結

- 由於地幔中的對流，岩石圈板塊移動。一種運動是通過海底鋪展產生的。
- 可以通過概述地震震中來定位板塊邊界。
- 板塊在三種類型的板塊邊界上相互作用：發散，會聚和變換。
- 地球的大部分地質活動都發生在板塊邊界。
- 在發散的邊界上，火山活動產生了中海脊和小地震。
- 在至少有一個洋板塊的會聚邊界，一個海溝，一連串火山形成，並發生了許多地震。
- 在兩個板塊都為大陸的匯聚邊界處，山脈不斷擴大，地震頻發。
- 在轉換邊界處，存在轉換斷層，發生了大地震，但沒有火山。

- 長時間運行的過程會創建地球的地理特徵。

發展理論

與其他先前和同期的建議相一致，氣象學家阿爾弗雷德·韋格納（**Alfred Wegener**）在 1912 年充分描述了他所說的大陸漂移，並在 1915 年出版的《*大洲和海洋的起源*》^[1]中進行了擴展，科學辯論開始了，直到五十年後在板塊構造理論中。^[2] 從這個想法（也由他的先驅者表達過）開始，即現在的大陸曾經形成了一個單一的地塊（後來被稱為 **Pangea**），該地塊開始漂移，從而將這些大陸從地球的地幔中釋放出來，並將它們比作“冰山”。低密度花崗岩的“漂浮在密實玄武岩的海洋上”。^[3]

支持該想法的證據來自南美東海岸和非洲西海岸的燕尾式輪廓，以及沿這些邊緣的岩層匹配。他們以前的連續性質的確認也是來自化石植物舌羊齒和 *Gangamopteris*，和獸孔目或哺乳動物，爬行動物一樣水龍獸，都廣泛分佈在南美洲，非洲，南極洲，印度和澳大利亞。這些大陸如此古老地結合在一起的證據是在南半球工作的野外地質學家的專利。南非的亞歷克斯·杜·托伊特（**Alex du Toit**）在其 1937 年出版的《*我們的流浪大陸*》中匯集了大量此類信息。，並且比 **Wegener** 更進一步地認識到岡瓦納碎片之間的緊密聯繫。

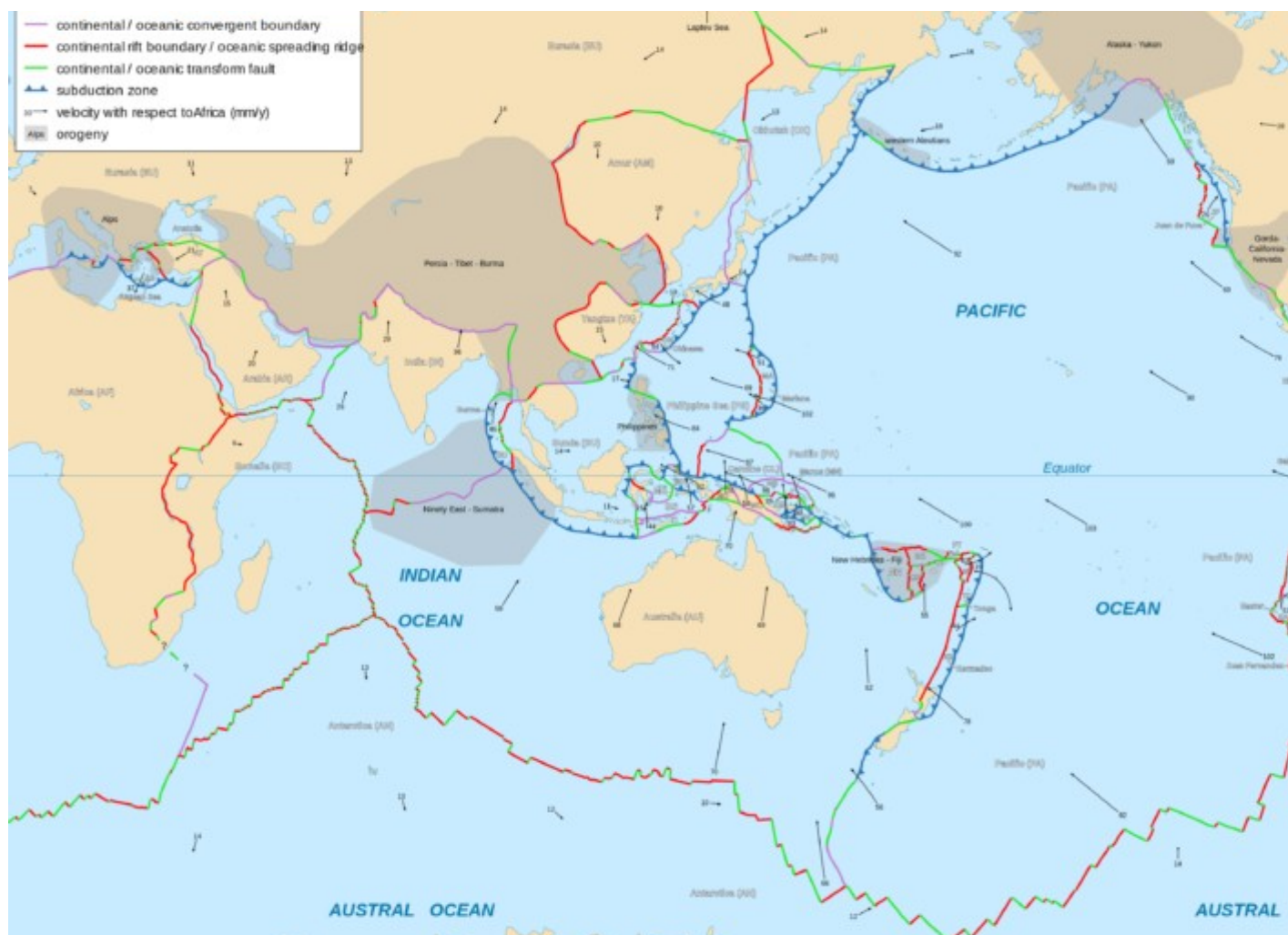


圖 1.詳細的地圖顯示了構造板塊及其運動矢量。（單擊圖像可打開較大版本的地圖。）

但是，由於沒有詳細的證據和足以推動運動的力量，這一理論並未被普遍接受：地球可能有一個堅實的地殼，地幔和一個液態核心，但是似乎沒有辦法使部分地殼運動。**Harold Jeffreys** 和 **Charles Schuchert** 等傑出科學家是對大陸漂移的直言不諱的批評家。

儘管存在很多反對意見，但大陸漂移的觀點獲得了支持，“漂流者”或“動員者”（理論的支持者）與“定影者”（反對者）之間開始了激烈的辯論。在 1920 年代，1930 年代和 1940 年代期間，前者達到了重要的里程碑，提出對流可能驅動了板塊運動，並且可能在大洋殼內的海底下發生了擴散。類似於地球物理學家和地質學家（固定主義者和動員主義者），如 **Vening-Meinesz**，**Holmes** 和 **Umbgrove**，提出了與現在納入板塊構造的元素相近的概念。

用於支持岩石圈板塊運動的第一批地球物理證據之一來自古磁學。這是基於這

樣的事實：自 19 世紀中葉以來的研究證明，不同年齡的岩石顯示出可變的磁場方向。磁北極和南極會隨時間反轉，並且在古構造研究中尤其重要，磁北極的相對位置會隨時間變化。最初，在 20 世紀上半葉，通過引入所謂的“極地漂移”（見表觀極地漂移）來解釋後一種現象，即，假定北極的位置已隨著時間推移而移動。不過，另一種解釋是，各大洲相對於北極移動（移動和旋轉），每個大洲，實際上，顯示了自己的“極地漫遊路徑”。在 1950 年代後期，兩次成功地證明了這些數據可以證明大陸漂移的有效性：Keith Runcorn 在 1956 年的一篇論文中，^[4] 和沃倫·凱里（Warren Carey）在 1956 年 3 月舉行的研討會上。

^[5]

支持大陸漂移的第二個證據來自 1950 年代末和 60 年代初，其數據來自深海底的測深圖和洋殼的性質（例如磁特性），並且隨著海洋地質學的發展

Heezen，Dietz，Hess，Mason，Vine & Matthews 和 Morley 於 1959 年至 1963 年間發表了有關海底沿海中脊擴散和磁場逆轉的證據。^[6]

瓦達蒂-貝尼諾夫地區及其周圍沿許多大陸邊緣的海溝及其周圍地區早期地震成像技術的同步進步，以及許多其他地球物理（例如重力法）和地質觀測資料，顯示了海洋地殼如何消失到地幔中，從而提供了機制平衡洋盆的延伸與沿其邊緣的縮短。

所有這些證據，無論是從海底還是從大陸邊緣，都清楚地表明，在 1965 年左右大陸漂移是可行的，並且在 1965 年至 1967 年之間的一系列論文中定義的板塊構造理論誕生了，所有其非凡的解釋和預測能力。該理論徹底改變了地球科學，解釋了各種各樣的地質現象及其在其他研究中的意義，例如古地理學和古生物學。

大陸漂移



圖 2. 1912-13 年冬季在格陵蘭的阿爾弗雷德·韋格納（Alfred Wegener）。

在 19 世紀末和 20 世紀初，地質學家認為地球的主要特徵是固定的，大多數地質特徵（如盆地發育和山脈）都可以用地殼垂直運動來解釋，即所謂的年代相學說。通常，這是在相對較短的地質時間內由於熱量損失而使地球收縮的情況下發生的。

早在 1596 年就觀察到，大西洋的相反海岸，或者更確切地說是大陸架的邊緣，具有相似的形狀，並且似乎曾經裝配在一起。^[7]

從那時起，提出了許多理論來解釋這種表面上的互補性，但是對地球的假設使這些各種建議難以接受。^[8]

1895 年發現放射性及其相關的加熱特性促使人們重新審視了地球的表觀年齡。

^[9] 以前是通過它的冷卻速度和假設地球表面像黑體一樣輻射來估算的。^[10] 這些計算表明，即使地球開始是熾熱的，地球也要在幾千萬年的時間內降到現在的溫度。有了新熱源的知識，科學家們意識到地球將變得更舊，並且其核心仍然足夠熱至可以變成液體。

1915 年，在已公佈的 1912 年第一篇文章中，^[11] 阿爾弗雷德·韋格納是為在第一版的大陸漂移的想法進行認真論證大陸和海洋的起源。^[12] 在那本書中（從 1936 年的最後一個版本開始，連續四個版本再版），他指出南美的東海岸和非洲的西海岸看起來像曾經一樣。韋格納並不是第一個注意到這一點的人（亞伯拉罕·奧爾特里烏斯，安東尼奧·斯尼德·佩萊格里尼，愛德華·蘇斯，羅伯托·曼托瓦尼和弗蘭克·伯斯利·泰勒在他之前僅舉幾例），但他是第一個封送重要化石，古地形和氣候學的人。支持這一簡單觀察的證據（並得到 Alex du Toit 等研究人員的支持）。此外，當各大洲邊緣的岩石地層非常相似時，表明這些岩石以相同的

方式形成，這意味著它們最初是結合在一起的。例如，蘇格蘭和愛爾蘭的部分地區的岩石與紐芬蘭和新不倫瑞克的岩石非常相似。此外，歐洲的加里東山脈和北美的阿巴拉契亞山脈的部分在結構和岩性上非常相似。

但是，許多地質學家並未認真對待他的想法，他們指出，大陸漂移並沒有明顯的機制。具體來說，他們沒有看到大陸岩石如何犁過構成海洋硬殼的密度更大的岩石。韋格納無法解釋造成大陸漂移的力量，直到他在 1930 年去世後，他的辯護才得以實現。

漂浮的大陸，古磁性和地震帶

早期發現，儘管大陸上存在花崗岩，但海底似乎由緻密的玄武岩組成，在 20 世紀上半葉，盛行的概念是有兩種類型的地殼，稱為 “sial”（大陸型地殼）。和 “sima”（洋殼型）。此外，據推測在各大洲之下存在一個靜態的地層殼。因此，看起來很明顯，玄武岩層（sial）位於大陸岩石的下面。

Preliminary Determination of Epicenters 358,214 Events, 1963 - 1998

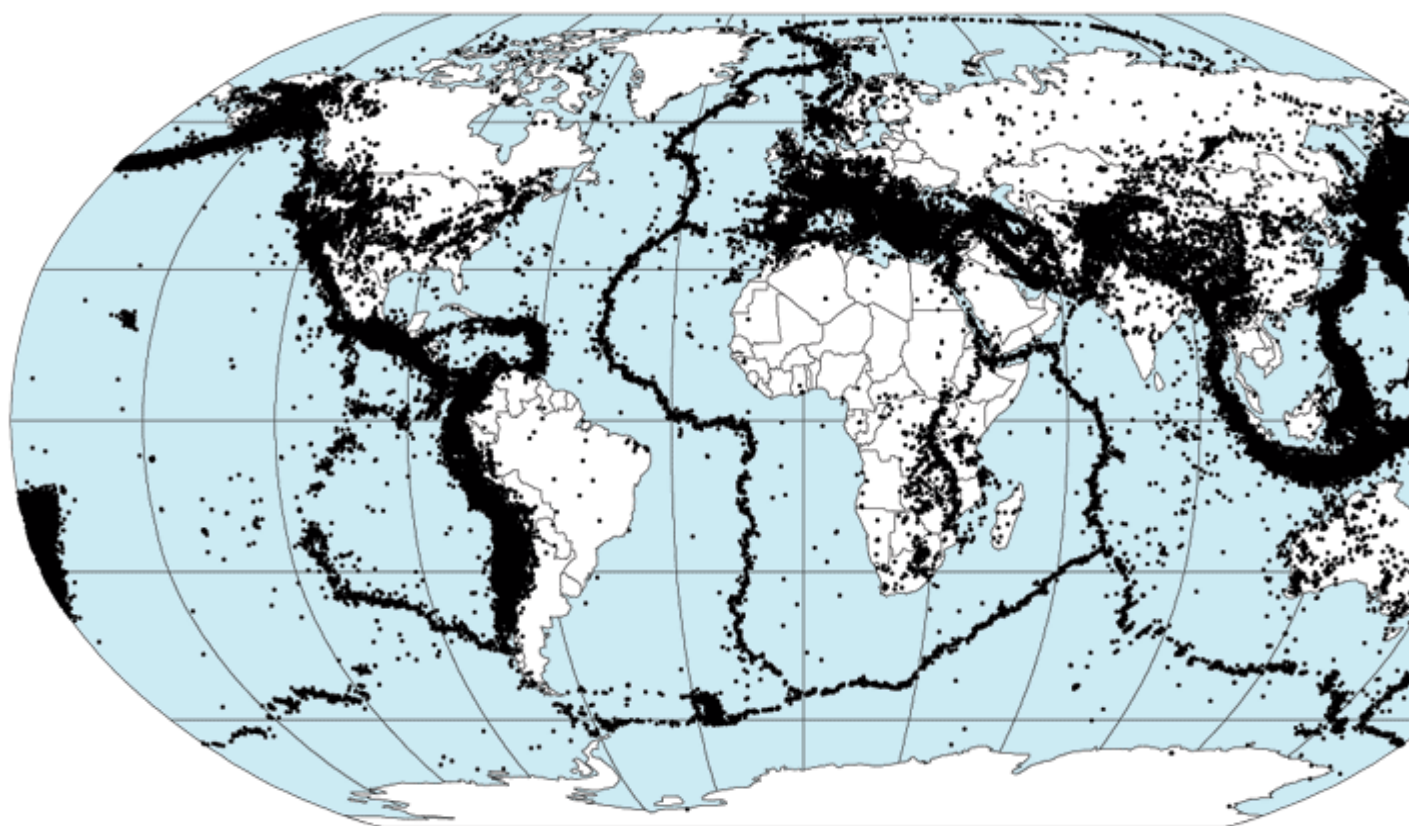


圖 3. 1963–1998 年全球地震震中

但是，根據秘魯安第斯山脈鉛垂線偏轉的異常情況，皮埃爾·布格（**Pierre Bouguer**）推斷，密度較低的山脈必須向下投射到下方的較密層中。一百年後，喬治·B·艾里（**George B. Airy**）在喜馬拉雅地心引力研究期間證實了山有“根”的概念，地震研究發現了相應的密度變化。因此，到 1950 年代中期，有關山根是緊緊圍繞在玄武岩中還是像冰山一樣漂浮在玄武岩上的問題仍未解決。

在 20 世紀，地震儀器等地震儀器的改進和更多使用使科學家們了解到地震往往集中在特定區域，最明顯的是沿著海溝和蔓延的山脊。到 1920 年代後期，地震學家開始識別出幾個與海溝平行的突出地震帶，這些地震帶通常相對於水平面傾斜 40-60°，並延伸到地球數百公里。為了紀念最早認識到它們的地震學家，日本的 **Kiyoo Wadati** 和美國的 **Hugo Benioff**，這些帶後來被稱為 **Wadati-Benioff** 帶，或簡稱為 **Benioff** 帶。1960 年代，隨著全球標準化地震儀網絡（**WWSSN**）的建立，對全球地震活動的研究取得了很大進展^[13] 監視 1963 年禁止對地面進行核武器試驗的條約的遵守情況。來自 **WWSSN** 儀器的大量改進數據使地震學家可以精確地繪製全球地震集中區。

同時，圍繞極地漫遊現象的辯論也越來越多。自從有關大陸漂移的早期辯論以來，科學家一直在討論和使用證據表明發生極地漂移是因為過去大陸似乎已經穿越了不同的氣候帶。此外，古磁數據表明，磁極也在一段時間內發生了偏移。以相反的方式進行推理，各洲可能已經轉移並旋轉，而兩極則保持相對固定。1956 年，基思·朗康（**Keith Runcorn**）在一篇論文中^[14] 以及他和他的學生特德·歐文（**Ted Irving**）（實際上是第一個被說服的人）連續發表論文，首次使用磁極漂移的證據來支持各大洲的運動。古遺傳學支持大陸漂移的事實）和肯·克里爾（**Ken Creer**）。

隨後緊接著在 1956 年 3 月於塔斯馬尼亞舉行的座談會上。^[15] 在這次座談會上，證據被用於全球地殼擴張的理論中。在這個假設中，大陸的移動可以用地球形成以來的大幅度增加來簡單地解釋。但是，這並不令人滿意，因為它的支持者無法提供令人信服的機制來使地球大幅度擴張。當然，沒有證據表明在過去的 30 億年中，月球已經膨脹。其他工作很快就會表明，證據同樣支持在半徑穩定的地球上發生大陸漂移。

在 30 年代至 50 年代後期，**Vening-Meinesz**，**Holmes**，**Umbgrove** 和其他許多人的作品概述了與現代板塊構造學理論幾乎或幾乎相同的概念。特別是，英國地質學家亞瑟·霍爾姆斯（**Arthur Holmes**）在 1920 年提出板塊交匯點可能位於海底，而在 1928 年提出地幔內的對流可能是驅動力。^[16] 通常，這些貢獻被遺忘是因為：

- 當時不接受大陸漂移。
- 其中一些想法是在沒有大陸漂移或地球膨脹的變形地球的廢棄固定主義想法的背景下進行討論的。

- 它們是在嚴重的政治和經濟不穩定事件中發表的，這阻礙了科學交流。
- 許多是由歐洲科學家發表的，起初在美國研究人員於 1960 年代發表的有關海床擴散的論文中沒有提及或稱讚。

大洋中脊擴散與對流

1947 年，由莫里斯·尤因（Maurice Ewing）領導的一組科學家利用伍茲霍爾海洋研究所（Woods Hole Oceanographic Institution）的研究船亞特蘭蒂斯（*Atlantis*）和一系列儀器，證實了大西洋中部存在著上升現象，並發現海床的底部位於海平面以下。沉積物由玄武岩組成，而不是構成大陸主要成分的花崗岩。他們還發現，洋殼比大陸殼薄得多。所有這些新發現提出了重要而有趣的問題。^[17]

在海盆上收集到的新數據還顯示了與測深法有關的特殊特徵。這些數據集的主要成果之一是，在全球範圍內都檢測到了洋中脊系統。一個重要的結論是，沿著這個系統，正在建立新的海床，這導致了“全球大裂谷”的概念。Bruce Heezen（1960）的重要論文對此進行了描述，^[18] 這將引發一場真正的思維革命。海底擴散的一個深遠後果是，沿海洋山脊不斷創造著新的地殼。因此，Heezen 提出了 S. Warren Carey 的所謂“擴展地球”假說（見上文）。因此，問題仍然存在：如何在不增加地球尺寸的情況下，沿著洋脊不斷添加新地殼？實際上，這個問題已經在四十年代和五十年代被許多科學家解決了，例如亞瑟·福爾摩斯，韋寧·梅涅斯，科茨等人：多餘的地殼沿著所謂的“海溝”消失了。俯衝”。因此，當六十年代初期各種科學家開始根據他們掌握的有關海床的數據進行推理時，

這個問題尤其吸引了普林斯頓大學的地質學家，海軍儲備海軍少將，海軍上將哈里·哈蒙德·赫斯（Harry Hammond Hess）和美國海岸與大地測量局的科學家羅伯特·迪茨（Robert S. Dietz），他首先創造了“海底擴散”一詞。Dietz 和 Hess（前者一年前在《自然》雜誌上發表了相同的觀點，^[19] 但優先權屬於 Hess，他們在 1960 年之前已經分發了他的 1962 年文章的未出版手稿）^[20] 是真正理解海底擴張的廣泛含義以及它最終將如何與當時的非常規和不被接受的大陸漂移思想以及像霍姆斯（Holmes）之類的以前的工人提出的優雅而動員的模式相一致。

同年，美國地質調查局的羅伯特·R·科茨（Robert R. Coats）描述了阿留申群島上島弧俯衝的主要特徵。他的論文雖然當時很少被提及（甚至被嘲笑），但後來被稱為“先見之明”和“有先見之明”。實際上，它實際上表明，歐洲科學家在島弧和山地帶上所做的工作在 1930 年代至 1950 年代間進行並出版，在美國得到應用和讚賞。

赫斯和迪茨（Hess and Dietz）像福爾摩斯（Holmes）和其他人之前所說的那

樣，如果地殼沿著海洋山脊擴張，那麼它必定會在其他地方縮小。赫斯緊隨希岑之後，暗示新的洋殼以傳送帶般的運動不斷從山脊擴散開。而且，利用先前發展的運動概念，他正確地得出結論，數百萬年之後，洋殼最終沿著大陸邊緣下降，在大陸邊緣形成了海溝（非常深，狹窄的峽谷），例如沿著太平洋盆地的邊緣。赫斯邁出的重要一步是，對流是這一過程的驅動力，得出的結論與福爾摩斯幾十年前的結論相同，唯一的不同是使用希岑沿山脊擴散的機制來使洋殼變薄。因此，赫斯得出結論，大西洋在擴張，而太平洋在縮小。由於海溝中的老洋殼已被“消耗”（像福爾摩斯等人一樣，他認為這是通過大陸岩石圈的增厚來完成的，而不是像現在所理解的那樣，是通過在更大範圍內將大洋殼本身推入地幔中來完成的），新的岩漿沿著擴張的山脊上升和爆發，形成新的地殼。實際上，海洋盆地被永久“回收”，同時形成新的地殼和破壞舊的海洋岩石圈。從而，

磁條

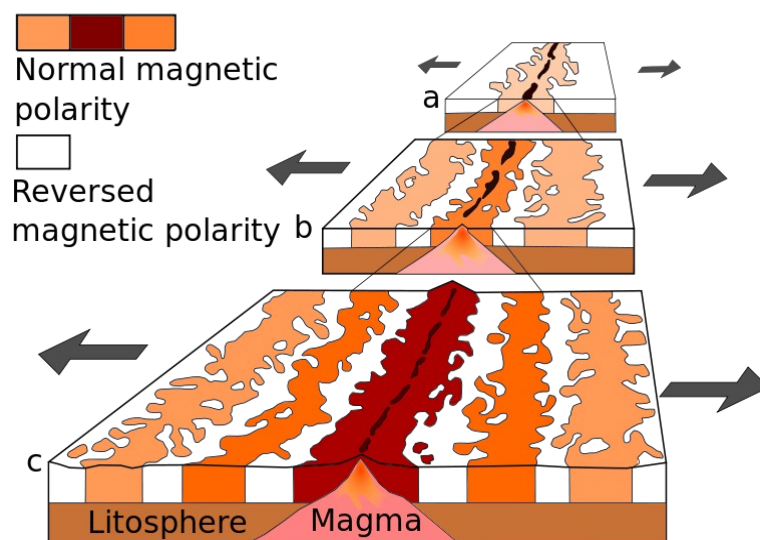


圖 4.海底磁條。

從 1950 年代開始，像 Victor Vacquier 這樣的科學家使用從第二次世界大戰期間開發的機載設備改裝的磁性儀器（磁力計）來檢測潛艇，開始認識到整個海底的奇特磁變。這一發現儘管出乎意料，但並不完全令人驚訝，因為人們知道玄武岩（構成海床的富含鐵的火山岩）包含強磁性礦物（磁鐵礦），並且可以使指南針讀數局部變形。這種扭曲早在 18 世紀末就被冰島水手所認可。更重要的是，由於磁鐵礦的存在賦予了玄武岩可測量的磁性，這些新發現的磁性變化提供了研究深海底的另一種手段。當新形成的岩石冷卻時，

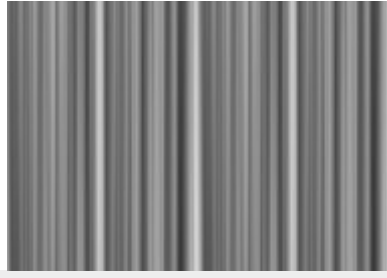


圖 5.磁條的演示。（顏色越深，與正常極性越接近）

由於在 1950 年代繪製了越來越多的海底圖，因此磁性變化並非隨機或孤立出現，而是揭示了可識別的模式。當將這些磁模式繪製在廣闊的區域上時，海床顯示出斑馬紋模式：一個帶正常極性的條帶和相鄰帶相反極性的條帶。由正向和反向極化岩石的交替帶所定義的整體模式被稱為磁條，由 **Ron G. Mason** 及其同事於 1961 年發表，但他們並未找到有關這些數據的解釋。幾年後，像 **Vine**，**Matthews** 和 **Morley** 這樣的海床蔓延術語。^[21]

磁條的發現需要作出解釋。在 1960 年代初期，像 **Heezen**，**Hess** 和 **Dietz** 這樣的科學家開始進行理論推斷，洋中脊標誌著結構薄弱的區域，在這些區域中海床沿脊頂縱向撕開了兩個（見上一段）。來自地球深處的新岩漿很容易穿過這些薄弱區域上升，並最終沿著山脊噴發，形成新的海洋地殼。這個過程最初被稱為“輸送帶假說”，後來被稱為海底擴散，這一過程持續了數百萬年，繼續形成了整個 50,000 公里長的洋中脊系統的新海床。

僅僅四年後，帶磁條的“斑馬紋”的地圖出版，海底之間的鏈接傳播，這些模式是正確放置，獨立 by **Lawrence 莫利**，和 **弗雷德藤和德拉蒙德馬修斯**，在 1963 年，^[22] 現在稱為 **Vine-Matthews-Morley** 假設。這個假設將這些模式與地磁逆轉聯繫起來，並得到以下幾條證據的支持：^[23]

1. 條紋在洋中脊的波峰周圍對稱。在山脊的頂部或附近，岩石非常年輕，並且遠離山脊逐漸變老。
2. 洋脊最年輕的岩石始終具有當今（正常）的極性；
3. 平行於山脊的岩石條紋在磁極性上交替變化（正反轉等），這表明它們是在不同時期形成的，這些時期記錄了（已經從獨立研究中獲悉）地球磁場的正向和反向發作。

通過解釋斑馬狀磁條和大洋中脊系統的構造，海底擴展假說（**SFS**）迅速獲得了轉化，並代表了板塊構造理論發展的另一個重大進展。此外，如今，地殼被人們視為對地球磁場的地磁場反轉（**GMFR**）歷史的自然“記錄”。今天，廣泛的研究一方面致力於校準大洋地殼的正反轉模式，另一方面致力於從沉積序列中的玄武岩層定年（磁地層學）得出已知的時標，以估算過去的擴散速率和

板塊重建。

理論的定義和完善

經過所有這些考慮，板塊構造（或最初被稱為“新全球構造”）在科學界迅速被接受，隨之而來的眾多論文對此概念進行了定義：

- 1965 年，圖佐·威爾遜（Tuzo Wilson）從一開始就一直是海底傳播假設和大陸漂移的推動者^[24]，在模型中加入了轉換斷層的概念，完成了使板塊活動性所需的斷層類型分類在全球範圍內鍛煉。^[25]
- 1965 年在倫敦皇家學會舉行了一次關於大陸漂移的座談會，這必須被視為科學界正式接受板塊構造的開始，其摘要被發行為 Blacket, Bullard 和 Runcorn（1965 年）。在這次座談會上，愛德華·布拉德（Edward Bullard）和同事們用計算機計算了出大西洋兩岸的大陸如何最適合封閉海洋，這就是著名的“布拉德氏體”。
- 1966 年，威爾遜（Wilson）發表了涉及先前板塊構造重建的論文，並介紹了現在稱為“威爾森循環”的概念。^[26]
- 1967 年，在美國地球物理學會的會議上，W. 傑森·摩根（W. Jason Morgan）提出，地球表面由 12 個彼此相對移動的剛性板組成。^[27]
- 兩個月後，Xavier Le Pichon 發布了一個基於 6 個主要板塊及其相對運動的完整模型，這標誌著板塊構造科學界的最終認可。^[28]
- 同年，McKenzie 和 Parker 獨立提出了一個與 Morgan 相似的模型，該模型使用球體上的平移和旋轉來定義板塊的運動。^[29]

地質過程

描述與板塊構造有關的不同地質過程。

本節演示了板塊構造的意義。將向您介紹歸因於板塊構造的各種構造和特徵。

你會學到什麼

- 描述大洲，大陸裂谷和超大陸的發展。
- 描述發展中的火山弧。
- 描述洋盆的形成。
- 解釋並解釋熱點及其與板運動的關係。

本節的包括以下內容：

- 超大陸
- 火山弧
- 視頻：海洋盆地
- 熱點
- 自檢：地質過程

超大陸

早期大陸

像當前的洋殼一樣，第一個地殼是由玄武岩製成的。玄武岩殼下部的部分熔化開始於 40 億年前。這就產生了富含二氧化矽的地殼，成為了長統大陸。

克雷頓



圖 1.冰河時期的冰川將加拿大盾牌刮擦到魁北克西北部的 42.8 億年前的綠岩。

現在，最早的長英質大陸殼存在於大陸的古代核心地區，稱為 **克拉通**。快速的板塊運動意味著克拉通經歷了許多大陸碰撞。鮮為人知的是，在**古地理**，還是古地理，早期地球上，雖然小洲可能走到一起，打破了。

地質學家可以通過研究克拉通的岩石來了解許多有關前阿爾奇時代的知識。

- 克拉通族還含有長石質火成岩，它們是第一大陸的殘餘物。
- 克拉通岩含有圓形的沉積顆粒。這個事實有多重要？圓形的穀物表明礦物從較早的岩石類型中侵蝕了，並且還存在河流或海洋。
- 克拉通中一種常見的岩石類型是**綠岩**，一種變質的火山岩（圖 1）。既然今天在海溝中發現了綠岩，那麼綠岩的存在意味著什麼？這些古老的綠岩表明俯衝帶的存在。

屏蔽

將克拉通作物放置在表面稱為**盾牌**。克拉通起源於前寒武紀，被稱為前寒武紀盾。許多前寒武紀盾構大約有 5.7 億年的歷史（圖 2）。



圖 2.加拿大盾構是加拿大的古老平坦部分，位於哈德遜灣，明尼蘇達州北部，威斯康星州和密歇根州以及格陵蘭大部分地區。

平台

克拉通在大多數地方都被年輕的岩石所覆蓋，這些岩石統稱為**平台**。有時，較年輕的岩石會侵蝕而露出前寒武紀的克拉通（圖 3）。



圖 3.前寒武紀克拉通在大峽谷中裸露，科羅拉多河穿過該峽谷穿過較年輕的沉積岩。

早期對流

在前亞奇安時代和太古宙時期，地球的內部比今天溫暖。地幔對流更快，板塊構造過程更加活躍。由於俯衝帶更為普遍，因此早期地殼板塊相對較小。

自從完全融化以來，地球一直在冷卻。儘管如此，當地球形成時產生的內部熱量中約有一半仍保留在行星中，並且是當今核心和地幔中熱量的來源。

鎔石晶體揭示了古代地球上水的存在：

超大陸週期

看圖 4；這是地球嗎？

Rodinia



圖 4. Rodinia

如今，地質學家已經完全接受了韋格納超大陸 **Pangea** 的存在。大陸的運動解釋了我們所看到的地質活動。但這一切都始於 **Pangea** 嗎？還是之前有其他超大陸？大洲的未來將如何發展？

潘吉亞



圖 5. Pangea 破裂成為我們的現代大陸。

韋格納有很多關於他的大陸漂移假說的證據。證據之一是大西洋西側和東側的山脈相似。那些山脈在板塊交匯處上升。海洋兩岸（現在是大西洋的兩岸）一起粉碎成 **Pangaea**。隨著太平洋的發展，原始大西洋的海域萎縮了。

北美東部的阿巴拉契亞山脈形成於這個收斂的板塊邊界（圖 6a）。大約 2 億年前，它們可能與喜馬拉雅山一樣高。

自大約 2.5 億年前以來，**Pangea** 一直在分崩離析。各大洲內部形成了不同的板塊邊界，使它們裂開。各大洲仍在分裂。隨著大西洋的增長，太平洋地區正在萎縮。阿巴拉契亞山脈（圖 6b）現在處於被動邊緣。雄偉的山脈已經風化並侵蝕到今天的狀態。



(a)



圖 6. (a) 新罕布什爾州的阿巴拉契亞山脈。(b) 美國東部的阿巴拉契亞山脈這些山脈始於北美洲和歐亞大陸在 **Pangea** 聚在一起時相撞。

該超級大陸循環

早在 **Pangaea** 之前，就有早期的超大陸。羅丹尼亞存在 7.5 億到 11 億年前。哥倫比亞存在 1.5 到 18 億年前。如果各大洲繼續按目前的方向發展，它們將共同在大約 2 億年的時間裡在地球的另一端創建一個超大陸。

這被稱為**超大陸週期**。大約每 5 億年，各大洲在地球的另一側撞在一起。超大陸的建立是造成我們所見的大多數地質特徵的原因。它負責許多久已消失的功能。

[該動畫顯示了從羅丹尼亞解體開始的過去 6 億年裡各大洲的運動。](#)

概要

- 大陸的古老核心在其表面或下方。
- 在地表看到的克拉通岩被稱為盾。平台被盾構覆蓋著較年輕的沉積物。
- 地球早期對流較快，因此板塊構造較快。從那時起，地球一直在冷卻。
- Pangea 作為一組大陸大陸收斂的板塊邊界匯聚在一起。
- 隨著各大洲的分裂，Pangea 仍在分崩離析。大西洋越來越大，太平洋越來越小。
- 各大洲匯聚在一起，大約每 5 億年就破裂一次。這稱為超大陸週期。

火山弧

所有俯衝帶都在距上板邊緣一定距離處具有弧形或鏈狀的複合錐形火山鏈。俯衝板下降到地幔深處時釋放出水。這改變了地幔中已經很熱的岩石的化學性質，並使它們融化，形成岩漿。岩漿比周圍的堅固岩石密度低，因此它向上上升，最終在地球表面爆發火山噴發。

海洋大陸俯衝帶的火山弧不僅是一連串的火山。板塊會聚的應力會壓縮那裡的地殼，使其通過褶皺和逆衝斷層的結合而變厚。火成岩侵入和火山噴發也使那裡的地殼變厚。在地殼深處，火成岩侵入物凝固成岩石（例如花崗岩）的岩床，而由岩床侵入的先前存在的岩石在局部變質為新的岩石。結果是一個高山山脈，其核心是花崗質和變質岩，其邊緣周圍是折疊和斷層的沉積和火山，沿著該山脈的頂峰分佈著一連串的複合錐狀火山。

頻：海洋盆地

該視頻介紹了威爾遜循環，該理論描述了海盆的生命週期：

如您所見，海洋形成然後消失是非常普遍的。大陸裂谷在海洋形成中起著關鍵作用。但是海洋是如何形成的呢？觀看以下視頻，了解一些最新理論：

視頻中提到的低窪地區是海床。大洋地殼是玄武岩，大陸地殼是花崗岩。玄武岩較重，因此當它們都位於地幔頂部時，洋殼凹陷就會降低，形成一個盆地，水可以排入其中。

熱點

在地質學中，稱為**熱點**或**熱點的地方**是被認為是由下地幔供給的火山區，與周圍的地幔相比異常高溫。它們可能在構造板塊邊界上，附近或遠離構造板塊邊界。當前，有兩個假設試圖解釋其起源。有人認為，這是由於熱幔柱從地幔邊界處以熱擴散而上升。另一個假設假設不是引起火山作用的是高溫，而是岩石圈的延伸，它允許熔體從淺深度被動上升。該假設認為“熱點”一詞用詞不當，聲稱其下方的地幔源實際上根本不是異常高溫。著名的例子包括夏威夷和黃石公園。

背景

熱點概念的起源在於 J. Tuzo Wilson 的工作，他在 1963 年提出夏威夷群島是構造板塊緩慢穿越地表以下高溫區域的結果。後來推測，熱點是由地幔柱狀結構中從地球的核心-地幔邊界升起的狹窄熱地幔流提供的。目前是否存在這樣的地幔柱是地球科學界的一個主要爭議問題。多年來，估計由地幔柱注入的熱點數量大約在 20 到數千之間，大多數地質學家認為存在幾十個。夏威夷，留尼汪，黃石，加拉帕戈斯群島和冰島是應用該假設的一些目前最活躍的火山地區。

大多數熱點火山都是玄武岩（例如夏威夷，大溪地）。結果，它們的爆炸力比俯衝帶的火山爆發性低，在俯衝帶的火山中，水被困在俯衝板之下。在大陸地區出現熱點的地方，玄武岩漿穿過大陸殼上升，並融化形成流紋岩。這些流紋岩會形成劇烈的噴發。例如，黃石破火山口是由地質歷史上一些最強大的火山爆發形成的。但是，當流紋岩完全爆發時，可能會發生玄武岩漿的爆發，它們穿過相同的岩石圈裂隙（岩石圈裂縫）。這種活動的一個例子是不列顛哥倫比亞省的 Ilgachuz 山脈，該山脈是由早期的一系列長曲風和流紋岩噴發以及後期擠出的一系列玄武岩熔岩流形成的。

現在，熱點假說與地幔柱假說緊密相關。

與島弧火山比較

熱點火山與島弧火山的起源根本不同。後者形成在俯衝帶上，在會聚板塊邊界處。當一個大洋板塊與另一個大洋板塊相遇時，密度較大的板塊被迫向下進入深海溝。該板被俯衝時，將水釋放到上覆板的底部，並且該水與岩石混合，從而改變了岩石的成分，導致一些岩石融化並上升。正是這樣為一連串的火山提供了燃料，例如阿拉斯加附近的阿留申群島。

熱點火山鏈

地幔柱/熱點聯合假說設想，饋線結構彼此固定，大陸和海底在頭頂上方漂移。因此，該假說預言了火山的時間漸進鏈在表面形成。黃石公園就是一個例子，它位於絕種火山口的末端，向西部逐漸變老。另一個例子是夏威夷群島，那裡的島嶼逐漸變老，並向西北方向進一步侵蝕。

地質學家試圖利用熱點火山鏈來追蹤地球構造板塊的運動。由於缺乏很長的鏈條，許多都不具備時效性的事實（例如加拉帕戈斯群島）以及熱點似乎並沒有相對固定（例如，夏威夷和冰島），這一工作變得煩人）

假設熱點火山鏈



圖 2.基拉韋厄火山是世界上最活躍的盾構火山。自 1983 年以來，該火山就一直不斷噴發，它是夏威夷皇帝海山鏈的一部分。

- 夏威夷皇帝海山鏈（夏威夷熱點）
- 路易斯維爾海山鏈（路易斯維爾熱點）
- 沃爾維斯里奇（高夫和特里斯坦熱點）

- 科迪亞克－鮑伊海山鏈（鮑伊熱點）
- Cobb-Eickelberg Seamount 連鎖店（Cobb 熱點）
- 新英格蘭海山鏈（新英格蘭熱點）
- Anahim 火山帶（Anahim 熱點）
- 麥肯齊堤防群（麥肯齊熱點）
- 大流星熱點軌道（新英格蘭熱點）
- 聖赫勒拿海山鏈－喀麥隆火山線（聖赫勒拿島熱點）
- 南部瑪斯卡琳高原－查戈斯-馬爾代夫-拉卡迪夫嶺（留尼汪熱點）
- 九十東嶺（Kerguelen 熱點）
- Tuamotu-Line 島鏈（復活節熱點）
- 澳大利亞－吉爾伯特－馬歇爾鏈（麥克唐納熱點）
- 胡安·費爾南德斯嶺（胡安·費爾南德斯熱點）

板內活動

少量的地質活動（稱為**板內活動**）不在板塊邊界發生，而是在板塊內發生。地幔柱是從地幔中升起的熱岩管道。壓力的釋放導致表面附近的融化形成**熱點**。熱點的噴發造就了一座火山。在一條線上發現了熱點火山（圖 3）。你能弄清楚為什麼嗎？提示：最年輕的火山位於熱點上方，而火山隨著距離熱點而變老。

這是[創建熱點鏈的動畫](#)。

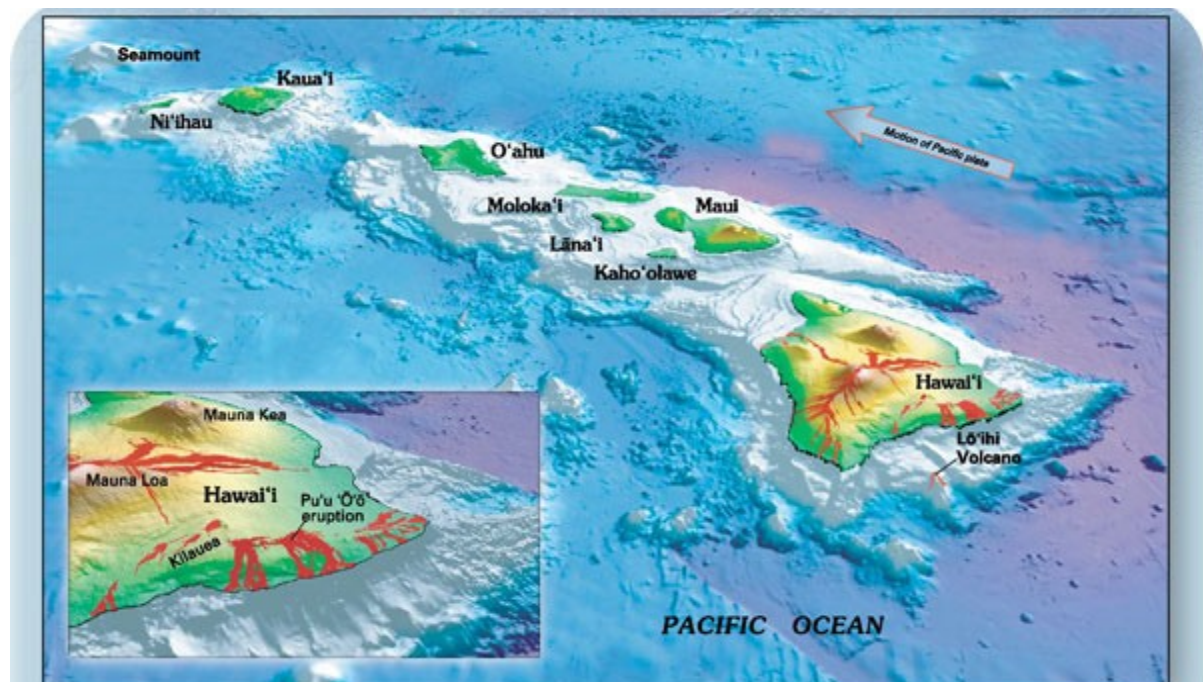


Figure 2.—Oblique view of the principal Hawaiian Islands and (the still submarine) Lō'ihi Volcano. Inset gives a closer view of three of the five volcanoes that form the Island of Hawai'i (historical lava flows are shown in red). The longest duration historical eruption on Kilauea's east-rift zone at Pu'u 'Ō'ō (inset), which began in January 1983, continues unabated (as of spring 2006). View prepared by Joel E. Robinson (USGS).

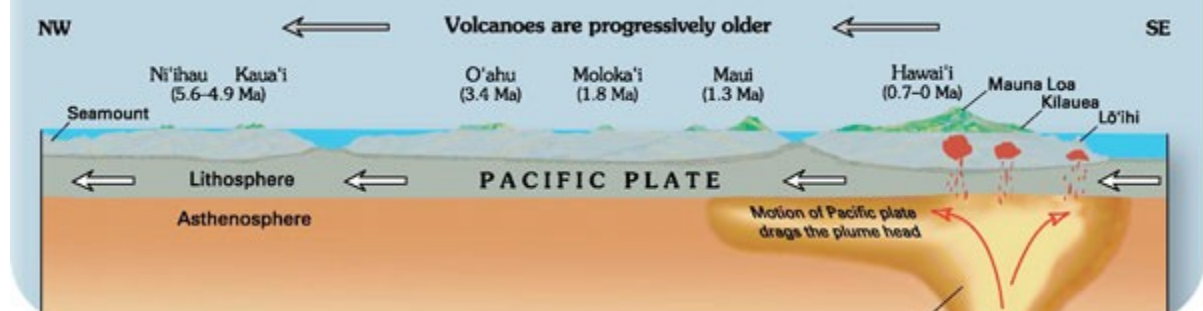


圖 3. 夏威夷群島是熱點鏈的一個很好的例子。基拉韋厄火山位於夏威夷熱點上方。莫納洛阿火山比基拉韋厄火山古老，並且仍在爆發，但速率較低。這些島嶼距離西北地區越來越遠，因為它們距熱點較遠。最年輕的火山 Loihi 仍在海面以下。

地質學家使用一些熱點鏈來確定板塊的移動方向和速度（圖 4）。

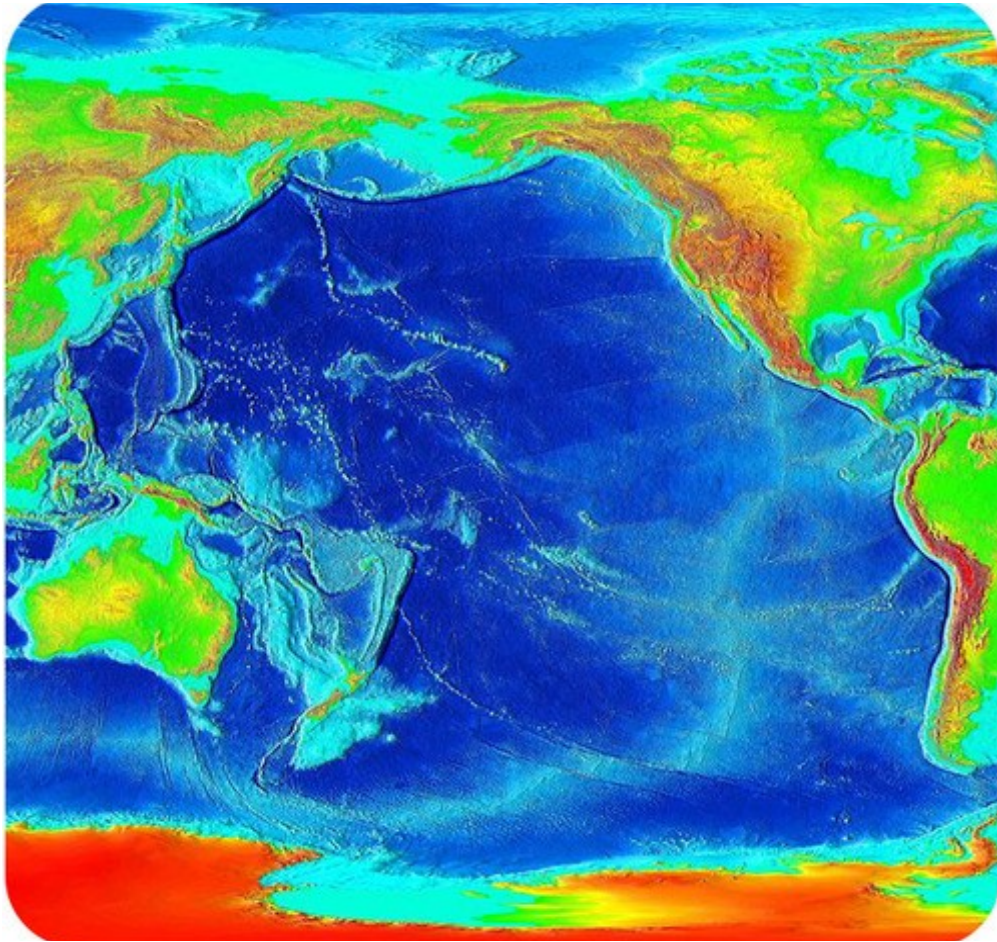


圖 4. 夏威夷鏈條一直延伸到皇海山。鏈條的彎曲是由 4300 萬年前的太平洋板塊方向變化引起的。利用彎曲的年齡和距離，地質學家可以計算出太平洋板塊在熱點上的速度。

熱點岩漿很少穿過厚的大陸殼。黃石熱點是一個例外（圖 5）。

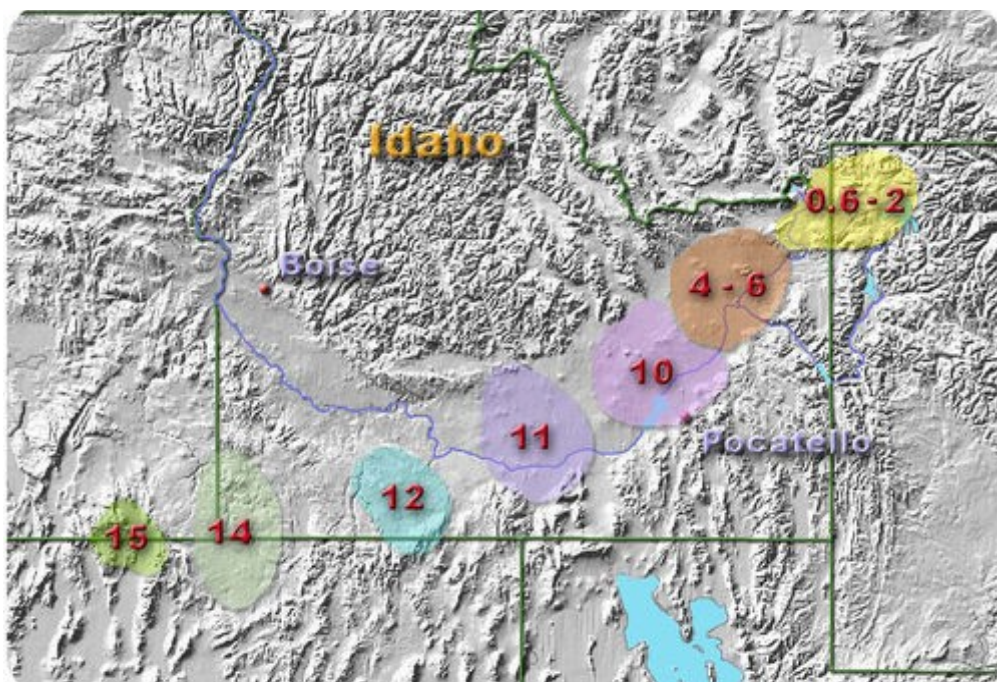


圖 5.北美板塊黃石熱點上方的火山活動可以追溯到 1500 萬年前到現在的位置。

小結：板塊構造

如您所見，此部分對於理解地球的運行方式，為什麼它看起來像它的樣子，塑造和繼續塑造地球的過程以及對我們今天的影響至關重要。板塊構造至少可以部分解釋各種地質災害，例如火山，滑坡和地震。現在，您應該可以回顧本節開始時提出的問題，並了解板塊構造如何促進了我們的理解。實際上，很難想到不受板塊構造影響的地質領域或主題。

板塊構造將是其餘課程的基礎。該理論對以下每個方面都有影響：

- 岩層，地質環境，礦產資源
- 地貌，山區建造過程
- 褶皺，斷層和地震
- 火山及其噴發

板塊構造

板塊構造學是理解地球動態地質的統一框架。該理論認為，地球的最外層（地殼和最上層的地幔）構成了地球的脆性岩石圈。岩石圈分為許多薄板，這些薄板在軟流層（中地幔）的頂部移動。軟流圈是堅固的，但在地質時間尺度上可

塑性流動。

此評估將指導您檢查地球上的模式-海拔以上的地球表面地形以及地震和火山岩時代的分佈。然後，您將使用地質數據來確定長期平均板塊運動。

為此，您將使用 **Google Earth** 程序以及從各種來源編譯的 **Google Earth** 圖層。請回答每個問題，它們按小節劃分。記住要訪問頁面底部的提示。