

教育部委辦高級中學數學及自然科學 課程改進計畫

各科試用教材摘介(三)

本中心

本中心接受教育部委辦國中、高中、技職學校數學及自然科學課程改進計畫，邀請國內各大學教授一百二十多位、中學教師四十多位，在教育部科學教育指導委員會主任委員吳大猷先生及各位指導委員、暨諮詢委員指導下，進行編寫各有關課程之教科書、教學指引、實驗手冊、實驗活動本等試用教材。

數年來，各分項計畫分別依原定時間編寫完成有關教材，並順利地在教育部及廳局指定之學校進行試教。茲以本中心編印之試用教材，將提供教育部做為將來修訂各有關學校科學課程之參考，而科學教育事關國家大計與萬千學子之修習發展，為求集思廣益，乃請各計畫編輯小組，就所編各科試用教材教科書中各擷取一章，藉本中心發行之科學教育月刊逐期分科摘介，提請教育界先進及同仁就其內容及編寫方式惠予指教，以做為修訂之參考。

本期刊登之內容，係高一基礎地球科學中之一章。

高二地球科學

第十四章 海洋地質

14.1 海底地形

14.3 海洋沉積物

14.2 大陸邊緣、洋底盆地

14.4 大陸漂移與海底擴張說

及中洋脊之構造

14.5 板塊構造說

海洋佔地球表面之71%，故海洋地質之研究為瞭解地殼的構造及其演化所不可缺少。本章內容包括海底地形；大陸邊緣、中洋脊與洋底盆地；海洋沉積物；大陸漂移與海底擴張及板塊構造說等。

14.1 海底地形

由於海底為浩瀚的海水所被覆，欲窺視其全貌並非易事，從前以為海底是一片大平原者恐不乏其人，直到近代才瞭解海底地形的變化非常複雜。

14.1.1 海底地形之探測

早期英國海洋研究船挑戰者號（Challenger）進行環球探測時係使用繩索繫重錘沉入海底，以繩索長度決定海底深度，此法因受海流影響，繩索往往無法保持鉛直，在測量較深的海底時極不準確。直到1920年回聲探測法（echo sounding）應用於海底測深後，才使海底地形的測勘工作獲致重大進展。此法是利用發聲至海底回聲間的聲波傳播時間算出海底深度。由於近代廣泛使用精密的自動測深紀錄儀及衛星導航定位裝備，始得逐漸獲得海底地形的詳細資料。

14.1.2 海底地形的區分

海底可區分為三個主要地形區：即大陸邊緣（continental margin），洋底盆地（ocean basin floor）與中洋脊（mid-ocean ridge），（如圖14-1所示），各主要地形區又可細分為若干分區，（如圖14-2所示）。

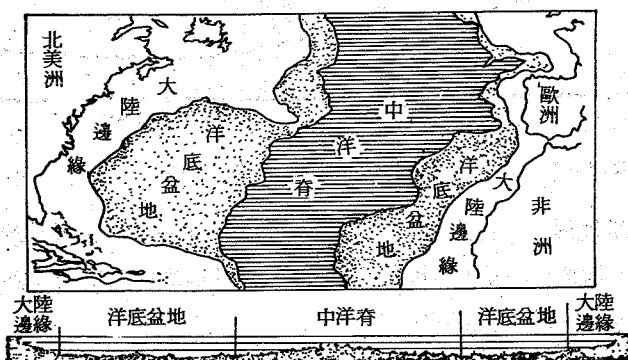


圖 14-1 北大西洋主要地形的區分

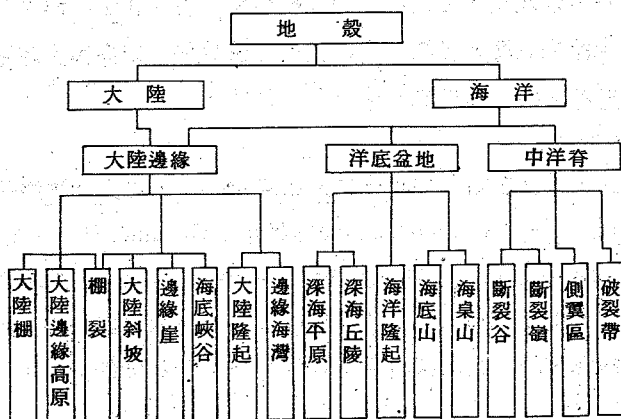


圖 14-2 海底地形概要

一、大陸邊緣

大陸邊緣介於大陸及洋底盆地之間。大陸棚、大陸斜坡和大陸隆起是大陸邊緣的三個主要地形分

區。一般而言，大陸棚(continental shelf)是指最接近陸地的海底地形區，其範圍自陸地向海延伸以200公尺水深為其外緣界限，平均坡度約為 $1 \div 1000$ ，是大陸邊緣地形中最平坦者。大陸斜坡(Continental slope)則緊接在大陸棚之外側，其坡度較陡峻，約 $1:40$ ，其範圍包括水深200公尺至2500公尺之間的海底區域。通常大陸棚以其外緣之棚界(shelf break)和大陸斜坡明顯分開，故棚界為大陸棚和大陸斜坡之交界線。至於大陸隆起(continental rise)則位於大陸斜坡之外側，是大陸地殼向海延伸之最外緣部份，坡度介於大陸棚和大陸斜坡之間，約為 $1 \div 700 \sim 1 \div 100$ ，深度可達5500公尺左右。大陸隆起通常向深海平原方向逐漸消失。

大陸邊緣之地形因地而異，如美國東部沿海之大陸棚、大陸斜坡和大陸隆起向海洋方向呈規則性的排列(如圖14-3)，而南美洲太平洋沿岸的大陸邊緣却没有大陸隆起，而是由大陸斜坡直接伸入海溝(trench)。

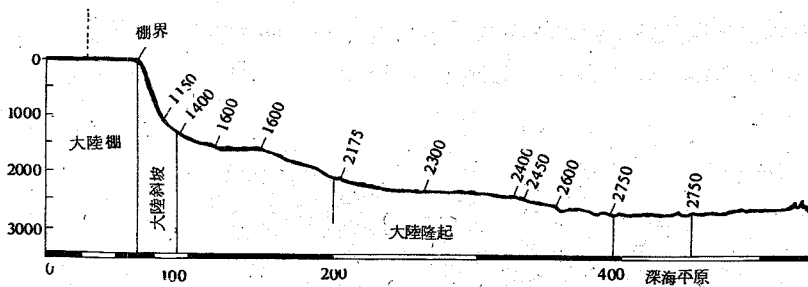


圖14-3 美國東部沿海大陸邊緣區之地形剖面(1哩=1.83公尺)

大陸邊緣有一特殊的谷崖地形稱為海底峽谷(Submarine Canyon)，自大陸棚邊緣向外海延伸貫切大陸斜坡而達大陸隆起。海底峽谷之橫斷面呈V字型，兩岸為陡峭的峭壁，深度可達數百公尺。美國東岸的哈德遜河向海延伸的海底峽谷即為一例。

大陸邊緣之外緣另有一特殊地形稱為海溝，為海洋中最深的部份，底部多半平坦，兩側並不對稱，通常在靠近大陸或島嶼之一側較陡峭，靠海洋之一側較平緩。海溝在太平洋之分佈遠比大西洋普遍(如圖14-19所示)。太平洋邊緣之海溝多數沿大陸斜坡外緣分佈，走向與大陸邊緣或島弧平行。最深的海溝為菲律賓海的馬里亞納海溝，深度達一萬一千餘公尺。

二、洋底盆地

洋底盆地介於大陸邊緣和中洋脊之間，其面積在大西洋約佔 $\frac{1}{3}$ ，在太平洋約佔 $\frac{1}{4}$ 。洋底盆地可細分為三個地形分區：即深海底(abyssal floor)、海洋隆起(Oceanic rise)及海底山(Seamount)。

深海底包括深海平原(abyssal plain)和深海丘陵(abyssal hill)。深海平原位於大陸隆起之外緣，其特徵為坡度平緩，小於 $1 \div 1000$ ，是因海底較高處之沉積物經濁流搬運至深海底再沉積所造成的。深海平原上有時有深海丘陵，突出深海平原數百公尺，有些深海丘陵則出現在中洋脊的山脚下。

海洋隆起是指突起於深海底的海底地形，它與大陸隆起和中洋脊均不相連，其高度自數百公尺至數千公尺，北大西洋的百慕達隆起(Bermuda rise)是最著名的例子(圖14-4)。

海底山是指海洋中高度超過1000公尺的山峯，頂部在水面下約數百公尺，且常呈鏈狀排列。所

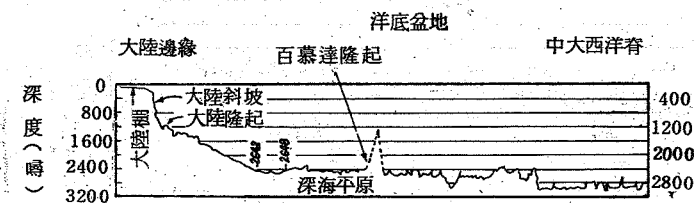


圖 14-4 北大西洋西部海底地形 (1 哩 = 1.83 公尺)

有錐狀海底山皆屬火山。頂部平坦的海底山稱為海桌山 (guyot)。一般認為是因曾露出海面受波浪侵蝕，削平頂端後所形成 (如圖 14-5 所示)。此種沉降的海桌山以太平洋最多，其他海洋亦有分佈。

三、中洋脊

中洋脊是各大洋底綿延最長之海底山脈。(如圖 14-6 所示) 在大西洋稱為中大西洋脊，在印度洋則由卡斯堡海脊 (Carlsberg ridge) 和東經 90° 海脊所構成，在太平洋則由東太平洋脊所構成。中洋脊是地球上最大最長之構造，綿延總長度約 72,000 公里，寬度約 1000

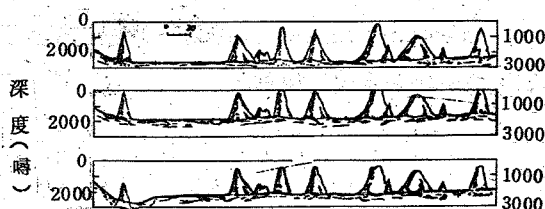


圖 14-5 海桌山形成之三階段 (1 哩 = 1.83 公尺)

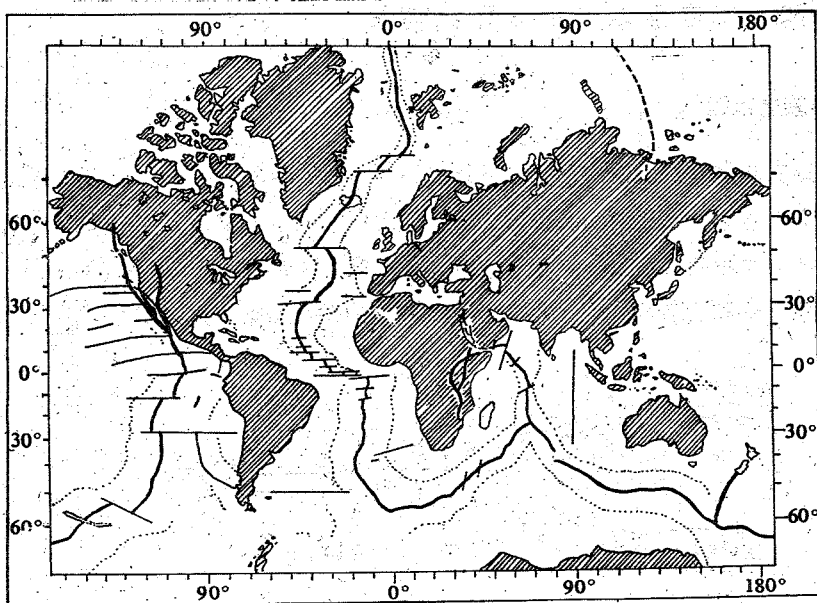


圖 14-6 中洋脊的分佈

~ 1500 公里，高度為 1~3 公里，面積幾達海洋面積的 $\frac{1}{3}$ 。

中洋脊可細分為三個地形區：即頂峯區 (crest province)，側翼區 (flank province) 和破裂帶 (fracture zone) (圖 14-7)。頂峯區包括斷裂嶺 (rift mountain) 和斷裂谷 (rift valley)

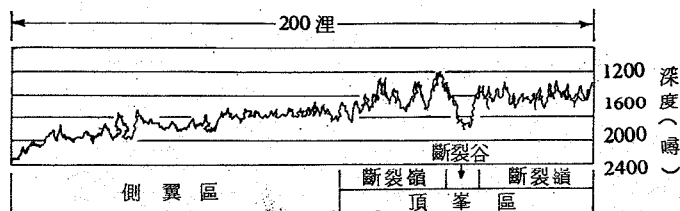


圖 14-7 中大西洋脊的地形區分 (1 呔 = 1.83 公尺)

。斷裂嶺為向內傾斜的翹起地塊 (tilted block)，其中央為一陷落的斷裂谷，斷裂谷底低於脊峯約 1000 至 3000 公尺，寬度約 1000 多公尺，為中洋脊最顯著的地形特徵，頂峯區乃是海底地形中最崎嶇者。側翼區由數個階段 (step) 構成，緊臨頂峯區，地勢較頂峯區平緩，多數有底部平坦的山間峽谷 (intermontane valley)。破裂帶則是由貫穿頂峯區和側翼區之轉形斷層 (transform fault) 所構成，與中洋脊走向互相垂直。

習題 14.1

1. 試簡單說明海底地形之三大區分。
2. 試說明中洋脊之地形特徵。

14.2 大陸邊緣、洋底盆地及中洋脊之構造

14.2.1 大陸邊緣之構造

大陸邊緣為大陸與海洋之間的過渡地帶，其地殼構造如圖 14-8 所示。在大陸邊緣地帶花崗岩質的大陸地殼向海洋方向急速減薄，取而代之的玄武岩質海洋地殼逐漸成為大陸邊緣下地殼之主層。莫合不連續面的深度亦自大陸向海洋方向變淺，地殼總厚度變薄。此種改變導致部份地區的構造不穩，因此大陸邊緣又有穩定帶和活動帶之區分，前者如大西洋之大陸邊緣，後者如太平洋四周之大陸邊緣。

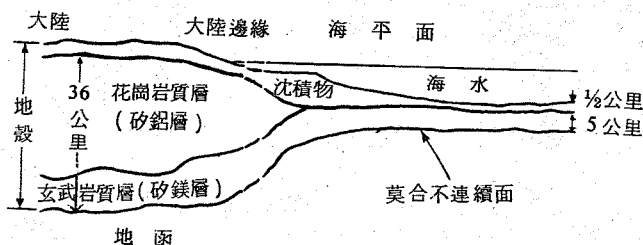


圖 14-8 從大陸到海洋的一般構造剖面

太平洋四周大陸邊緣構造中最特殊的是海溝及島弧。西太平洋之海溝被盆地所隔開，故沉積物多沉積於海底盆地，海溝中的沉積物較少；而東太平洋之海溝因緊臨陸地，沉積物較多，故海溝較淺。與海溝伴生的島嶼常呈弧形排列故稱為島弧，如日本、琉球及菲律賓等。有些島弧有內弧及外弧。外

弧通常由受強烈變形的沉積岩所組成，內弧則由較年輕的火山岩所構成。海溝及島弧地帶常為地震和火山活動頻繁的地方。

14.2.2 洋底盆地之構造

洋底盆地介於大陸邊緣與中洋脊之間。大部份洋底盆地過去都會有過火山作用。通常洋底盆地之火山和島嶼之岩石均屬玄武岩質，但印度洋洋底盆地中之島嶼及山丘却屬大陸性的花崗岩，因此有人稱為微大陸（micro-continent），此乃印度洋洋底盆地之特殊地質景觀。

根據震波測勘結果，可將洋底盆地下構造分為四個層次：第一層即表層是由非固結或半固結的沉積物所組成，如軟泥或紅色黏土，P波速度為2～3公里/秒。沉積物厚度隨地而異，但往中洋脊方向均逐漸減薄。

第二層由固結的沉積岩或風化的火山岩組成，平均厚度約1.7公里，P波速度為4～6公里/秒。

第三層是海洋地殼之主層，由玄武岩質之岩石組成，平均厚度約為5公里，P波速度為6.7公里/秒。

第四層為上部地函，與第三層係以莫合不連續面為界。一般認為地函係由超基性橄欖岩組成，P波速度為8.1公里/秒。

14.2.3 中洋脊之構造

中洋脊係分佈於世界各大洋之海底山脈系。中洋脊的構造有時自海底伸延至陸地上，有時露出海面形成海島，前者如美國加州附近之斷層及東非縱谷，後者如冰島。一般而言，中洋脊之位置在大西洋正位於海盆之中央，在其他海洋大都不位於正中央處，但仍以中洋脊稱之。

中洋脊最顯著的構造特徵是一條縱切脊峯之中央斷裂谷及無數道橫切洋脊走向的破裂帶。近代地質學家認為中洋脊之中央斷裂谷是海底地殼之擴張中心，地函岩漿沿此斷裂谷噴出形成新的海洋地殼。斷裂谷的形成可能是由地函之對流張力所造成，谷底之崎嶇地形可能是因內部熔岩崩場所形成。由於東太平洋脊之頂峯並無中央斷裂谷，因此學者認為中洋脊可能有不同發育階段。東太平洋脊應屬於較年輕且尚未完全發育成的中洋脊。中洋脊之另一重要構造特徵是破裂帶，乃是中洋脊錯動所產生的轉形斷層。轉形斷層與一般平移斷層不同。一般平移斷層是兩側地塊沿垂直的斷層面作反向平行運動，只要斷層運動持續進行，兩地塊的相對位移就不斷增加。轉形斷層却非如此，其斷層滑動方向恰與中洋脊錯開的方向相反，如圖14-9所示。

震波測勘結果顯示中洋脊頂峯區下的地質構造（圖14-10），與一般海底構造不相同。在頂

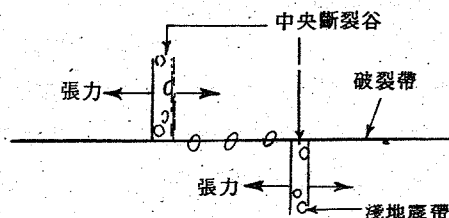


圖 14-9 中央斷裂谷、破裂帶與地震帶的關係

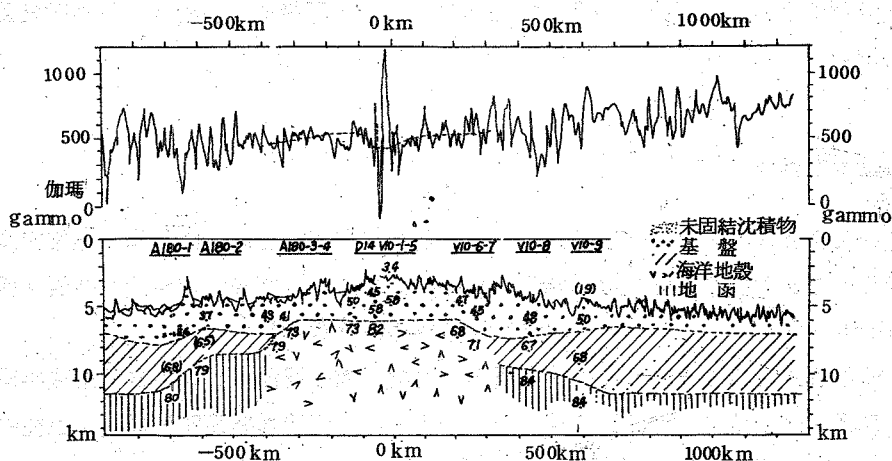


圖 14-10 中洋脊之 P 波構造剖面及磁力異常圖

峯區下測得的基盤厚度約 3~5 公里，P 波速度為 4.5~5.5 公里/秒，與火山岩層之波速相似。基盤底下之層次其 P 波速度 7.3 公里/秒，介於一般海洋地殼（6.7 公里/秒）和上部地函（8.1 公里/秒）之間，可能是由玄武岩漿及地函物質混合而成的。至於中洋脊之側翼區除地形上比較崎嶇外，其構造與一般洋底構造並無顯著差異。中洋脊上所覆蓋的沉積物由頂峯區向側翼方向逐漸增厚，年代較老的沉積物分佈在兩側。有些中洋脊頂峯甚至尚無沉積物沉積。

中洋脊是世界上主要地震帶之一，此處地震通常發生於中央斷裂谷及中洋脊錯開之破裂帶上（如圖 14-9），且皆屬淺地震。

習題 14.2

1. 試說明太平洋大陸邊緣之主要特性。
2. 試說明洋底盆地之層次構造。

14.3 海洋沉積物

大部份海底都覆有一層沉積物，由陸地上沖蝕下來的岩層、礦物顆粒以及海洋生物的介殼或骨骼混合組成。採取海底表層或表層下數公尺的沉積物需利用各種採樣裝備為之，如拖泥器（dredge sampler）、抓泥器（grab sampler）以及岩心採集器（gravity or piston corers）。

海洋沉積物之厚度變化頗大，太平洋中未固結的沉積物厚度平均約為 600 公尺，在大西洋介於 500 至 1000 公尺，北極海超過 4000 公尺，在波多黎各海溝沉積厚度甚至超過 9000 公尺。一般深洋沉積物含有約 50 % 的水份，因此若將水份自沉積物中擠出，則沉積厚度即告減半。

14.3.1 海洋沉積物之分類

地質學家依沉積物顆粒大小的分佈及組成去探討沉積物之來源及輸送路徑。由顆粒大小可將沉積

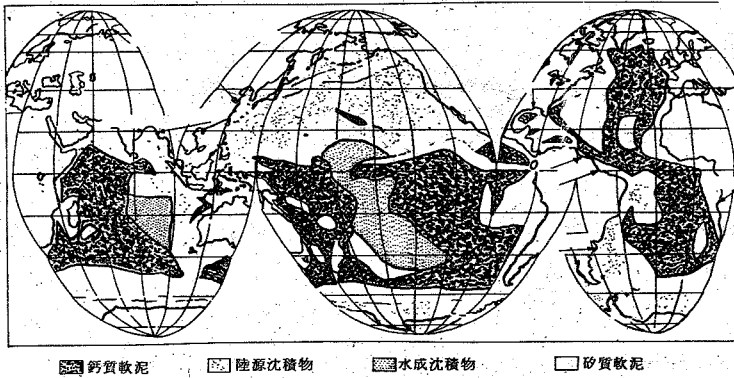


圖 14-11 海洋沉積物的分佈

物區分為砂和泥，顆粒直徑大於 0.062 毫米者稱為砂，小於 0.062 毫米者稱為黏土或泥。砂通常沉積在大陸棚及海灘上。在大陸棚較深水域中沉積的砂，部分是在早期沉積環境下所沉積，稱為遺留沉積物 (relict sediments)，例如過去海水面下降時，在當時的海灘所沉積的，在海水面又上升後，仍未被新的沉積物所埋沒。泥亦是相當普遍的沉積物，主要覆蓋於深海底，在大陸棚及大陸斜坡上亦有泥質與砂質沉積物之混合物質。通常深海沉積物中砂質顆粒之比例低於 10%，但北大西洋例外，該處深海沉積物含有 20% 的砂質，是由流經大陸斜坡之濁流所帶來。

除由顆粒大小區分沉積物外，亦可依來源物質之不同將沉積物區分為三類：即陸源沉積物、生物源沉積物及水成沉積物，其在海洋中的分佈如圖 14-11 所示。

一、陸源沉積物

陸源沉積物主要由大陸上岩石崩解所產生的礦物顆粒及岩石碎片組成，經由河川搬運至海洋中。在大陸棚因波浪及海流的作用，較大顆粒被搬運的距離較近先行沉積，小顆粒則被帶至較遠處，於是顆粒粗細之分佈井然有序，此種作用稱為淘選。

河川挾帶至海洋的沉積物多沉積於河口處，尤其粗粒物質。細粒物質由於懸浮關係需甚久時間才會沉降至海底，在沉降以前可能已隨海流遨遊數千里。此外細粒物質亦可由風挾帶進入海洋，由此可見幾乎海洋的任何角落均可接受或多或少的陸源沉積物。離大陸越遠陸源沉積物之沉積速率越慢，每千年至萬年僅有 1 公厘的沉積厚度。接近大陸尤其大河入海口附近海域，陸源沉積物之沉積速率相當快速，每千年可達數公尺厚。

海洋中細粒物質之慢速沉降，以致散佈面積廣泛，並使它有更多機會參與化學反應。例如顆粒外表所含鐵份會與海水中的溶氧發生作用形成紅褐色鐵氧化物。深海沉積物多富含此種紅色或褐色顆粒，稱為紅粘土或褐泥。一般而言，大西洋深海沉積物為磚紅色，而太平洋則為巧克力褐色。相反地，大陸棚及大陸斜坡上快速沉積的沉積物，因與海水接觸時間短暫，無法與海水溶氧充分反應，故不呈紅色或褐色，但因礦物成份與沉積環境之不同而致顏色變化甚多。

風所挾帶之顆粒，主要分佈於北緯 30° 和南緯 30° 附近的西風帶，高山和沙漠為主要來源。此等區域由於河流少所以風成為搬運沉積物之主要營力，此類陸源沉積物在西風帶的淺海沉積物中影響特

別顯著。

冰川是陸源沉積物之另一搬運營力。當冰川從內陸流至海岸時，冰川下的岩石表層遭磨損而產生碎屑，被一併帶往海洋，冰塊本身亦含有各種大小岩屑，因此當冰川流入海洋，冰塊溶解時其所挾帶之岩屑即可沉積，生成泥、砂及礫石混合而成的冰成沉積物，覆蓋大部份南極大陸棚及一部份北太平洋深海底。

火山碎屑物質很容易從沉積物中加以辨認，亦為陸源沉積物之一。火山噴發時細粒火山灰噴向大氣，其後沉積於火山附近的海底，如印尼及阿留申海域。

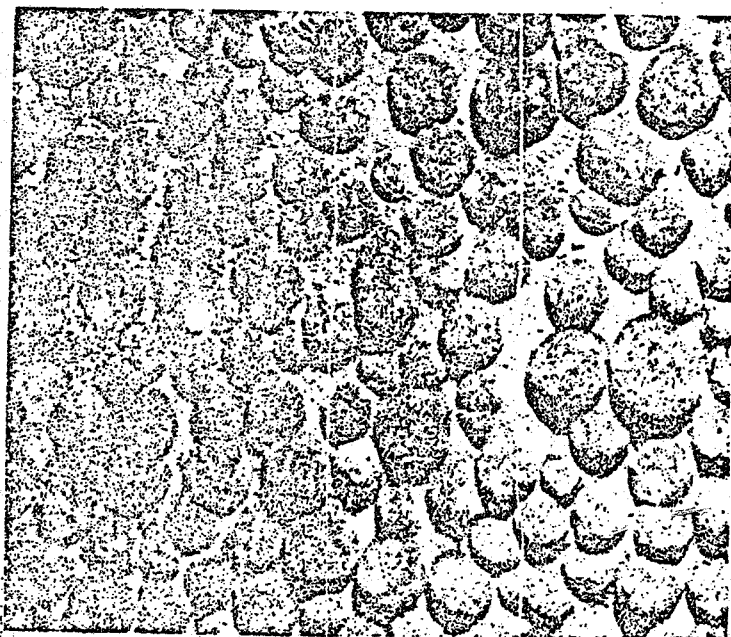
二、生物源沉積物

生物源沉積物由生物遺骸組成。依分佈範圍之大小順序可區分為三種：

1. 鈣質成份—由有孔蟲球菌類及翼足類之介殼組成。
2. 矽質成份—由矽藻及放射蟲之介殼組成。
3. 磷酸質成份—主要由魚類之骨骼組成。

就顆粒度而言，大部份深海沉積物係以泥為主，若含生物成份 30 % 以上時稱為軟泥。富含磷酸質的軟泥很少出現在深海，故遠洋沉積物中以鈣質軟泥和矽質軟泥為主。鈣質軟泥約覆蓋深海面積之半，在海水淺於 4500 公尺之地區含量尤其豐富，沉積速率每千年約為 1 ~ 4 公分。矽質軟泥主要分佈於太平洋，其中矽藻軟泥之分佈主要環繞南極大陸及北太平洋；至於富含放射蟲之矽質沉積物則分佈於赤道太平洋區，如圖 14-11 所示。

討論生物源沉積物須考慮三個因素，即生物的分佈、遺骸的分解及稀釋。大部份生物死亡後，骨



深海照相顯示之

圖 14-12 兩太平洋海底之錳核分佈 錳核之直徑約為 5 公分

骼或介殼沉至海底，其中可溶部份快速溶解。生物遺骸與海水接觸時間越長或接觸面積越大，越容易溶解，通常生物遺骸未被沉積物掩埋之前即已發生溶解。在定義上軟泥必須含有 30 % 以上的生物成份，所以一旦陸源沉積成份增加，生物源成份即受到稀釋而不再稱為軟泥。

三、水成沉積物

水成沉積物係指由海水中溶解物質發生化學沉澱而形成的沉積物。錳核是水成沉積物之代表，呈黑色的團塊，有時呈較大片體，由鐵錳礦物組成，分佈於海底沉積物之表面，深海照相顯示太平洋有些地區的海底覆蓋百分之 20 ~ 50 之錳核，如圖 14-12 所示。錳核之形成相當緩慢，每年僅成長 0.01 至 1 毫米之厚度。錳核富含鐵（平均 15 %）錳（平均 15 %），亦含有鈷、鎳、鋅、銅、鉛等重金屬。此等金屬元素可能由海底火山噴發至海水中，在適當酸鹼度及氧化條件下沉積。除此之外，水成礦物尚有岩鹽、石膏、霏石及白雲石等。其中岩鹽及石膏是由蒸發而形成。霏石及白雲石是因碳酸鈣過飽和而產生。

習題 14.3

1. 試說明生物源沉積物之類別。
2. 試說明水成沉積物中何者最具經濟價值。

14.4 大陸漂移與海底擴張說

14.4.1 大陸漂移説

從地圖中我們容易看出南美洲東岸和非洲西岸之海岸線形狀恰似拼圖遊戲中的兩塊拼板一般，彼此互相吻合。1910 年德國韋格納（Alfred Wegener）針對此兩大陸海岸線吻合之現象提出解說，認為從前南美洲和非洲是一塊相連的大陸，以後才分裂漂移至現在位置。他彙集古生物學及地質學證據於 1915 年發表“大陸及海洋的起源”進一步將局部性的大陸漂移觀念擴大為全球性，而正式推出大陸漂移說。

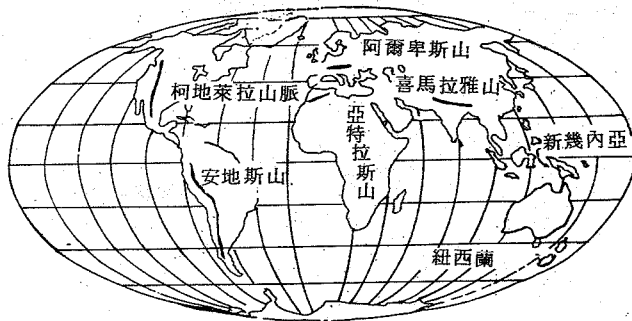


圖 14-13 漂移大陸的前緣

當時的大陸漂移說認為原始陸塊祇有一個，稱為盤古大陸 (Pangea) 後來這塊古大陸分裂而四處漂移散開，才造成目前所見的各洲大陸。當各大陸向外漂移時，其前緣岩層觸及海洋地殼後，因承受壓力起而褶皺，並將原沉積於海底的厚層沉積物擠壓成為山脈，如北美洲和南美洲向西漂移即形成柯地萊拉山及安地斯山。又如阿爾卑斯山、亞特拉斯山及喜馬拉雅山則是非洲大陸和印度陸塊向赤道漂移而與歐亞大陸彼此擠壓所形成的(如圖14-13)。

早期的大陸漂移說主要是根據大西洋兩岸形狀之吻合而建立，或許有人會認為這種吻合純屬巧合，但韋格納却設想這兩塊大陸是由一塊超級大陸分開而成，這一論說經初步證實是正確的，因地質學家發現位於大西洋兩岸的非洲和南美洲大陸的岩石成份及地層年代相當類似(如圖14-14)。

古生物學及古氣候學的證據顯示兩大陸之古生物分佈及古氣候情況大致相似。至於其他的大陸又如何呢？英國劍橋大學的一些學者曾利用電子計算機將全球各大陸予以拼合，他們不以海岸線為大陸

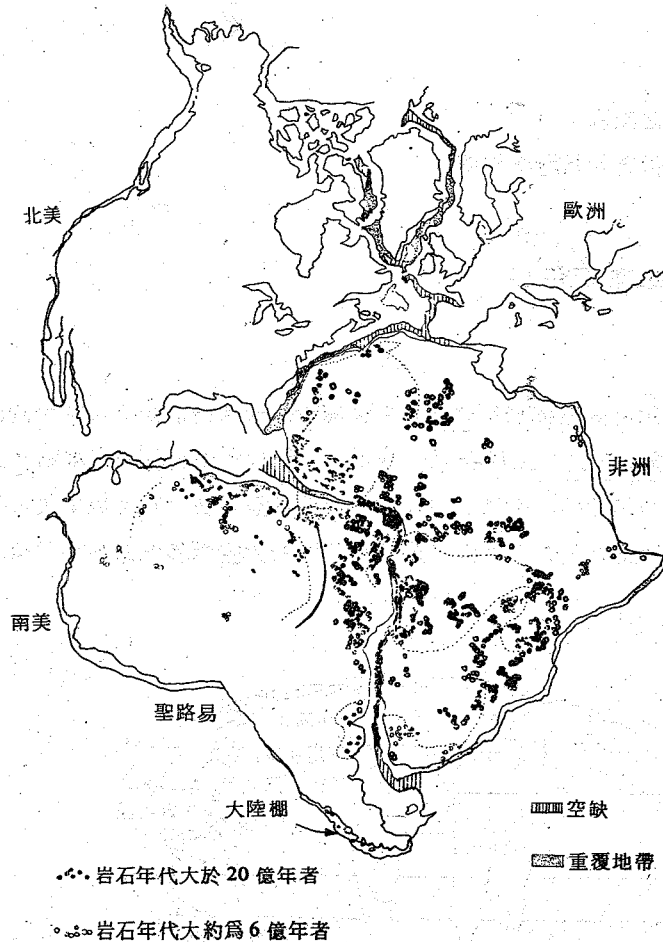


圖 14-14 大陸地塊之拼合及南美和非洲岩層年代之拼合

的當然界限，而以水深 900 多公尺的大陸斜坡中點為基準，拼合結果如圖 14-14 顯示各大陸一如拼板般的吻合，證實各大陸原是一體的。冰川作用之遺跡亦證實大陸曾相連在一起，在南半球各大陸（非洲、南美洲、馬達加斯加島、澳洲、印度、南極洲）之石炭一二疊紀的地層中均發現有冰磧石，而且在類似的地層中亦發現有寒帶羊齒植物化石所形成的低級煤層，而北半球各大陸則有廣大的熱帶植物所形成的煤礦，顯示二億年前南半球各大陸應相連在一起而位於南極附近。當時北半球各大陸則位於赤道附近，以後才漂開的。

14.4.2 海底擴張說

當初大陸漂移說因無法解釋大陸漂移之動力曾被人冷落，乃有許多學者致力於地球動力理論之研究。1931 年霍姆斯（A. Holmes）提出地函對流說，認為地函內的熱對流是大陸漂移的原動力。後來在 1962 年海斯（H. Hess）援引地函對流之觀念加以闡述進而提出海底擴張說。

海底擴張說認為海洋岩石圈係沿中洋脊之中央斷裂谷破裂，地函內熔融的物質因對流作用向上升起，不斷自此裂口流出岩漿，形成新海洋地殼，同時推動中洋脊兩側早先形成的海洋地殼向外移開。

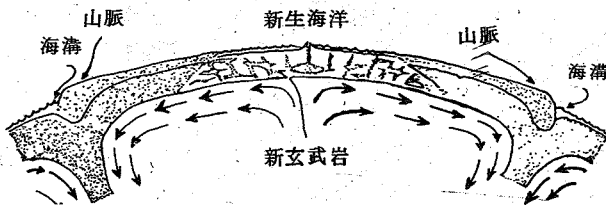


圖 14-15 海底擴張說之地函對流循環

如此海底不斷自中洋脊的中央斷裂口向兩側擴張，稱為海底擴張。當較老的海洋地殼因擴張作用被推至大陸邊緣而與大陸地殼遭遇時，即隱沒至大陸地殼之下而回到地球內部，完成對流循環，整個過程如圖 14-15 所示。依此說則海底岩石之生成年代離中洋脊越遠應該越老，由放射性同位素定年法所獲得的結果，證實此說不謬。

海底擴張說最重要的證據來自古地磁學的研究。在岩漿冷卻形成岩石的過程中，當溫度低於居里點時，所含的磁性礦物即順著當時的地球磁場方向被磁化。藉著測定岩石之磁化性質及生成年代即可推斷過去地球磁場之變化歷史。依此研究結果（圖 14-16）發現地球磁場之正負方向反覆改變，亦即在某段時間內以正向磁場為主，在另一段時間內則

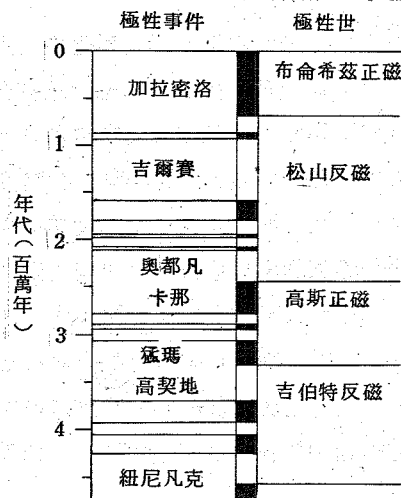


圖 14-16 地球磁場極性正反變化

以反向磁場出現，正向與反向期間長短不一，長者約100萬年稱為極性世，短者可能僅數萬年稱為極性事件。每個極性世可包含數個極性事件。在過去450萬年間即包含布侖希茲 (Brunhes)，松山 (Matuyama)，高斯 (Gauss)及吉伯特 (Gilbert)等四個極性世，均是以對地磁研究有重大貢獻的科學家之姓氏而命名。其中布侖希茲及高斯世為正磁性，松山及吉伯特世為反磁性，各極性世中所含的極性事件則以首先發現地點之地名命名之。

從海上磁力測勘結果，發現海底岩石磁力之正負異常呈對稱帶狀，分佈於中洋脊的兩側(如圖14-17)。這一現象使人聯想到是否這些正負異常與地磁極性變化有關，試以東太平洋中洋脊兩側的

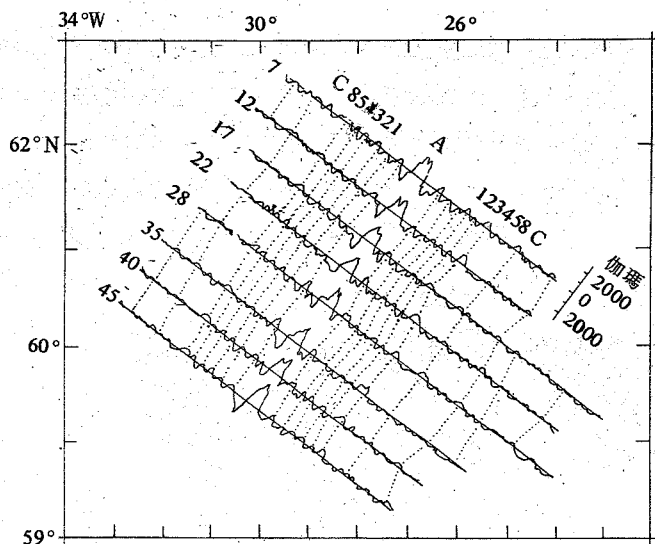


圖 14-17 海底的地磁異常剖面圖，剖面圖是垂直於此中洋脊脈，A為中洋脊的軸

海底正負磁力異常剖面與地球磁場變化史之正反極性世及極性事件比對，並設定其擴張速率每年為4.4公分，結果發現觀測值和計算值相當符合(如圖14-18)。證實了海底的磁力異常帶與地球磁場的極性變化密切相關，而且磁力異常帶之分佈離中洋脊越遠年代越老，完全符合海底擴張說之論點。

由磁力異常帶距中洋脊的距離除以相對應的地磁年代(或由岩石定年求得之年代)即可推算出海底擴張速度。從太平洋、大西洋及印度洋所作的磁力探測結果顯示出彼此相對應的異常帶距各中洋脊的距離各不相等表示海底擴張的速率有地區性之差異，其範圍從每年1公分至10公分不等，其中以大西洋之擴張速率較為穩定而印度洋及太平洋之擴張速率變化較大且其平均速率比南大西洋快速。全球的海底擴張若以目前每年數公分的速率持續進行，則海洋地殼每隔2億至3億年將可完全翻新一次，目前還未發現有老於侏羅紀(約2億年前)的海底沉積物，似乎支持上述說法。如此海底是以輸送帶之運送方式自中洋脊向兩側擴張開來，進而帶動了大陸的漂移。

習題 14.4

1. 試討論支持大陸漂移說之主要證據。

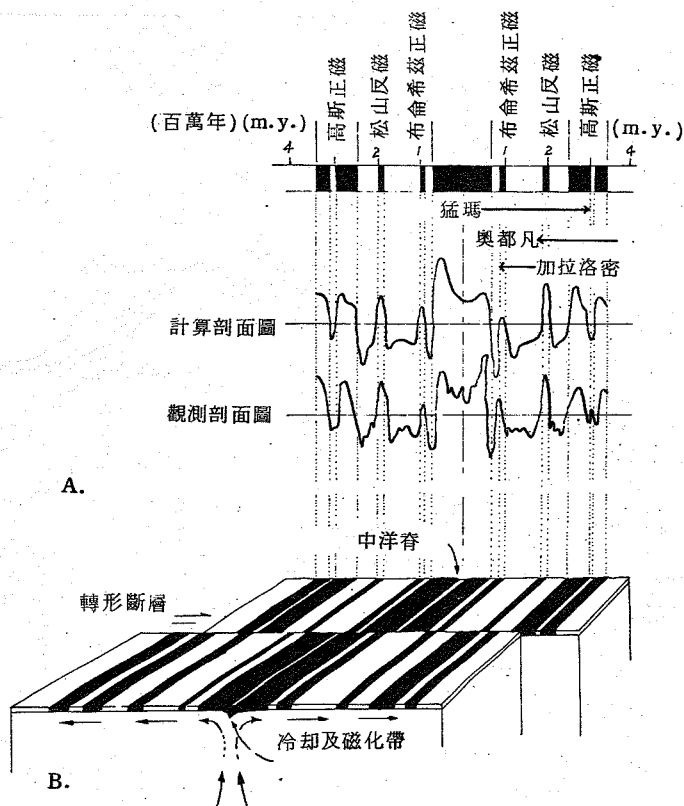


圖 14-18 (A)東太平洋隆起觀測與計算的地磁異常剖面圖。上方的水平柱狀圖表示出地磁磁極的世。(B)洋底擴張與地磁逆轉。破裂帶切割過中洋脊和磁化帶，造成了轉形斷層。

2. 試簡單說明海底擴張說。

14.5 板塊構造說

14.5.1 板塊構造說

板塊構造說係討論地球岩石圈中剛性板塊之相對運動及相互作用之論說，是綜合大陸漂移及海底擴張說而成的。此學說主張地球的外殼係由數個大的板塊所組成，每個板塊均漂浮於高溫且可塑性較高的地函之上，恰似冰山之浮於海洋一般，不僅如此，板塊更因地函內軟流圈之流動而受牽動漂移，且互撞擊形成山脈、海溝及島弧等，造成了現在的大地形貌。

板塊的面積從 10^4 平方公里至 10^8 平方公里不等，厚度在中洋脊下約為 70 公里，在大陸之下可達 150 公里。板塊邊緣不一定與大陸邊緣一致，因此有的板塊係由大陸地殼所組成，有的是由海洋地殼所組成，也有的是由大陸與海洋地殼合組而成的，如非洲板塊就是由大西洋東部海底，印度洋西部海底及整個非洲大陸聯合組成的。因此所謂大陸無非是位於板塊上的陸地核心罷了，而板塊運動又帶

動著大陸的漂移。目前地球表面可劃分為七大板塊，分別是歐亞大陸板塊、南極洲板塊、北美板塊、南美板塊、太平洋板塊、非洲板塊及澳洲板塊(圖 14-19)。至於較小面積的亞板塊(10^5 - 10^6 平方公里)如中國板塊、菲律賓板塊、阿拉伯板塊、伊朗板塊、加勒比海板塊、蘇格蘭板塊、那斯卡(Nazca)板塊及科克斯(Cocos)板塊等均屬之。而面積為 10^5 - 10^6 平方公里的小板塊其數量可能超過 20 個。通常亞板塊或小板塊出現於大板塊碰撞界面附近，具有快速複雜的運動特性，如阿拉伯及伊朗板塊即分佈於歐亞大陸和非洲板塊之碰撞界面上。

中洋脊的中央斷裂谷常為主要板塊之交界處，在該處熾熱的岩漿從地函逐漸流出。造成此等岩漿流出的地函軟流，不斷地將分裂之板塊往兩側推移。地函內的軟流係因溫度差異而造成的對流，因流動方向之不一致，使得各板塊有不同方向的移動。板塊之間因移動而產生的空隙，即被噴出的熔岩所填補，因而新的地殼即出現於板塊之間，依次添加於中洋脊兩側較老岩石之邊緣，稱為板塊之成長，老的海洋板塊即被推往中洋脊兩側，此種作用持續進行著，一俟板塊之一端與另一板塊碰撞，其間的沉積物受擠壓造成山脈或島弧。比重較大的海洋板塊即沉降至大陸板塊之下造成海溝及隱沒帶，此即板塊之消失。

板塊的成長或消失完全視其邊界是屬擴張性或收斂性而定。以非洲板塊而言，它除了北方邊界不受擴張中心包圍外，其餘的三面邊界均為擴張中心所環繞，因此非洲板塊一直在成長。由於地球總表面積不變，故非洲板塊之成長必會導致其相鄰板塊之縮小，甚至消失。事實上太平洋板塊面積似乎正在縮小以調節非洲板塊之成長。若太平洋海盆之縮小速率保持不變，則在二億年後美洲可能和亞洲大陸碰在一起。因此地球上目前的海陸分佈只不過是板塊不斷變動中的暫時現象罷了。

板塊係分佈於地球之表面，故板塊之運動可視為繞極之旋轉運動(圖 14-20)。由地函對流之幾何關係，我們可以理解中洋脊的走向係與此旋轉軸平行。由於球體轉動之角速度係隨緯度而變，在赤道附近角速度最大，往兩極方向角速度漸減，所以板塊移動速度在赤道附近最大，因此分佈於地球表面不同位置的板塊就會因角速度之差異而沿緯度線之方向產生錯動，形成轉形斷層。根據上述之關係，板塊旋轉軸之極點位置可由轉形斷層走向或海底擴張速率(即板塊運動之速率)推算出來。目前由各大洋之轉形斷層之走向分佈及擴張速率推算出的極點位置大致相符，支持上述推論。

地震之分佈與板塊運動有密切關係，地震之產生係因板塊運動，在其邊緣產生的碰撞或錯動所造成的，所以地震大多發生於板塊邊界地帶，而板塊內部則鮮有地震發生，因此地球上的地震活動帶，事實上就是板塊的自然分界線，由於地震帶與中洋脊、海溝、轉形斷層及造山帶之分佈相符，故板塊常以中洋脊、海溝

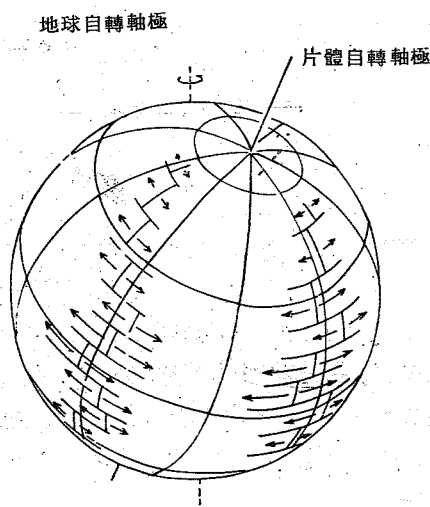


圖 14-20 板塊的自轉運動

、轉形斷層及造山帶爲界。

14.5.2 台灣島在板塊構造上的特殊地位

台灣因位於歐亞大陸板塊與菲律賓海板塊之交會處，故在板塊構造上地位重要。菲律賓海板塊以每年 6 ~ 7 公分的速率向西北方向推進，受阻於台灣東部。於是屬海洋性地殼之菲律賓海板塊被迫楔入大陸性地殼的歐亞大陸板塊之下，在花蓮東部之海底形成隱沒帶（圖 14-21），此兩板塊之衝撞擠壓形成一條南北向的平移斷層，而在此兩板塊相會之邊緣亦造成地震帶，這就是台灣東部地震頻繁之原因。

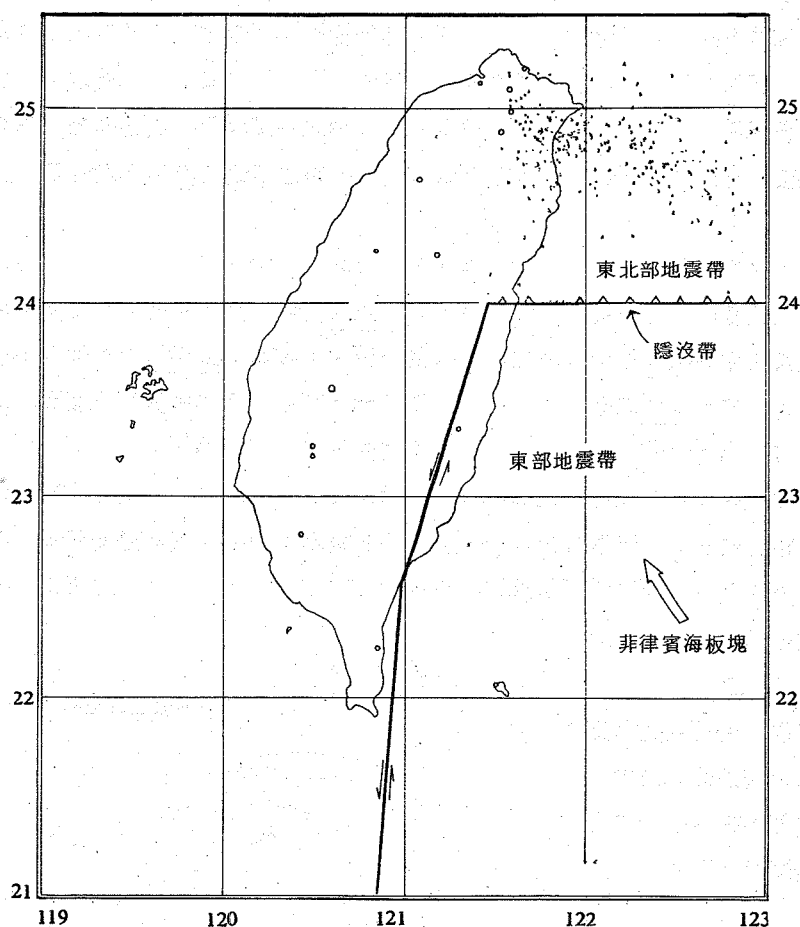


圖 14-21 台灣附近的板塊構造

函物質是否有足夠流動性可以造成對流作用，況且各板塊之不規則邊緣亦很難以對流作用予以說明，此類問題有待於對地函性質作進一步研究之後方有解答。

習題 14.5

1. 試說明地球表面之主要板塊。
2. 試討論台灣在板塊構造上所扮演之角色。

□