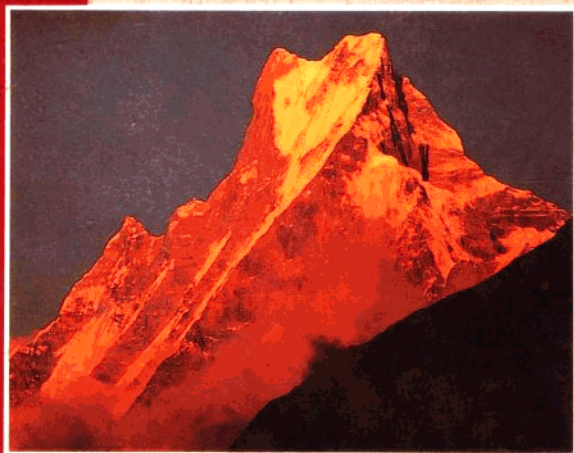


The World of Science Encyclopedia

牛頓

# 現代科技大百科

地球科學(I)——地球演化



Newton

牛頓現代科技大百科 3  
**地球科學 (I) —— 地球演化**

出版者 / 牛頓出版股份有限公司

負責人：高源清

原著作名稱 / The Evolving Earth

原出版社 / Equinox (Oxford) Ltd.

譯者 / 張慧芬

發行所 / 牛頓出版股份有限公司

地址 / 臺北市和平東路二段107巷25-1號一樓

電話：7061976 • 7061977 • 7059942 • 7062470

郵撥 / 1179402-3 牛頓出版股份有限公司

製版 / 詮盛印刷股份有限公司

印刷 / 仲一彩色印刷股份有限公司

單冊定價 / 新臺幣 750 元

初版 / 1989年2月15日

出版登記證 / 局版臺業字第3139號

法律顧問 / 林樹旺律師

● 版權所有 • 翻印必究 ●

本書如有缺頁、破損、裝訂錯誤，請寄回本社更換。

Printed in Taiwan, R.O.C. 1989

總編輯 / 劉君祖

科學主編 / 陳育仁

科學編輯 / 高孟忱 • 劉曼君 • 賴彩瑾 • 曾月卿  
李傳楷

美術主編 / 洪家輝

美術編輯 / 彭澗容 • 陳素芬 • 石佩琪

封面企劃 / 陳融賢

The World of Science Encyclopedia

**The Evolving Earth**

**Volume Editor**

Dr Peter J. Smith

**Editor**

Dougal Dixon

**Art Editor**

John Ridgeway

**Designer**

Ayala Kingsley

**Picture Editor**

Linda Proud

**Picture Researcher**

Caroline Lucus

**Senior Editor**

Lawrence Clarke

**Advisors**

Dr Preston Cloud,  
University of California  
Sir Kingsley Dunham FRS,  
University of Durham  
Dr John Tuzo Wilson FRS,  
Ontario Science Center

**Contributors**

Professor Jerry van Andel  
Dr P.M. Kelly  
Dr Peter J. Smith

**Additional picture research**

Mary Fane

**Cartographic editors**

Nicholas Harris and  
Zoë Goodwin

**Cartographic production**

Location Map Services  
Alan Mair  
Lovell Johns Ltd

**Indexer**

Susan Harris

**Typesetters**

Peter MacDonald  
Ron Barrow

**Artists**

Robert Burns  
Kai Choi  
Chris Forsey  
Alan Hollingbery  
Kevin Maddison  
Julia Osorno  
Colin Salmon  
Mick Saunders

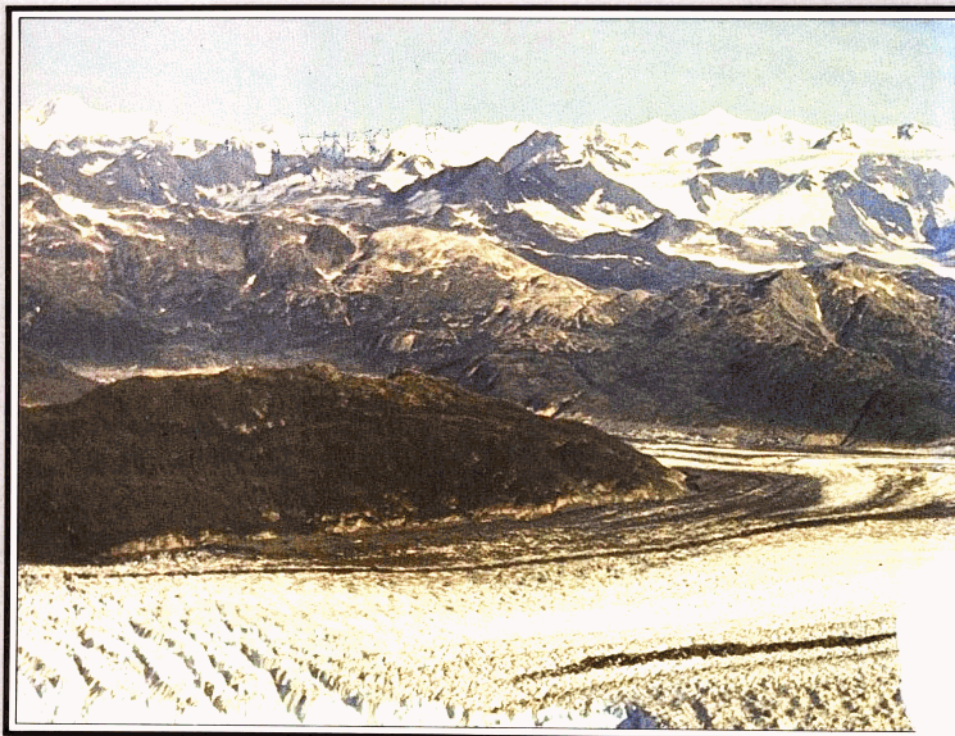
The World of Science Encyclopedia

牛頓 **現代科技大百科**

地球科學 (I) —— 地球演化



牛頓  
PDG



平  
州  
PDG

The World of Science Encyclopedia

牛頓 **現代科技大百科**

地球科學 (I) —— 地球演化



RW1971/07  
1196996



21196996

牛頓出版公司

试读结束：需要全本请在线购买：[www.ertongbook.com](http://www.ertongbook.com)



圖片說明(1~8頁)

- 1 加州死亡谷
- 2~3 阿拉斯加一景
- 4~5 大溪地附近的環礁
- 7 地平面的夜景
- 8 亞利桑納州大峽谷



# 目 錄

引 言	6
今日的地球	
1 活動的地球	9
2 地震和火山	25
3 內部的結構	33
4 磁力、重力和熱	45
5 內部的組成	57
固體地球	
6 起源與演化	69
7 測定岩石的年代	73
8 時光隧道中的地球	81
9 大陸的成長	101
10 正在膨脹的地球？	109
流體地球	
11 大氣層的發展	113
12 海洋的發展	121
語 彙	130
索 引	132

# 引言

有些地球科學家喜歡將地質學(geology)稱為最古老的科學，石器時代的人類不早就懂得利用地質材料了嗎？古代羅馬人開採過礦石；西元前六世紀的希臘人畢達哥拉斯(Pythagoras)便對遺留在陸地上的海洋化石十分熟悉；西元前一世紀中國人也發明了羅盤，這種儀器是利用地球的基本物理性質而製成的。雖然如此，但是只具備少數地質現象的知識或應用並不足以構成一門科學。

較為沈穩的地質學界人士則認為地質學是在十八世紀末或十九世紀初才逐漸發展成一門科學的，這種說法與事實較為接近，被稱為「現代地質學之父」的哈頓(James Hutton, 1726~1797)首度在一七八五年發表他的偉大學說。

## 第一次革命

哈頓認為地球是個永遠不停地運轉的巨大機器，大陸會逐漸受到侵蝕，侵蝕後的碎片被沖刷到海洋中而堆積成沈積層，這些沈積層愈壓愈緊密，再加上地熱的膨脹力量，便使其隆起並呈扭曲狀，於是又開始另一次侵蝕—隆起的循環，周而復始，永無休止。地球的熱量在海底深處足以熔解岩石，而侵入地殼外表的岩石則易受侵蝕作用。

廣義言之，上述觀點至今仍成立。侵蝕、隆起和火成活動等觀念現已廣為人所接受，但在十八世紀末，這些觀念甚至引發了地球科學史上的第一次大革命。當時哈頓被抨擊為無神論者，因為在他的理論中地球是非常古老的，可說是「前不見古人，後不見來者」，這對信奉舊約的基督徒而言不啻是大逆不道，因為愛爾蘭的主教尤塞(James Ussher, 1581~1656)不是早就算出創世紀是發生在西元前四千零四年嗎？

此外，爭議不只發生在探討地球的年齡上，在探討地球活動上也是一樣。神學中將神祇的涉入視為當然，這從創世紀和大洪水(尤塞也算出大洪水發生在西元前二千三百四十九年)的說法就可以清楚地看出。

相反地，哈頓所提出的理論卻只與「自然」的變遷有關，山脈的磨損、大陸的上升以及岩石的熔化等現象都是地球活動所造成的結果，不僅在以前發生過，以後也會持續發生。過去的地質現象與今天所發生的並沒有什麼不同，而神祇引起災難事件的說法則過去或現在都無關聯。

## 地質學的兩面觀

經過數十年之後，哈頓的觀點才逐漸廣為人們接受，此後地質學更以驚人的速度成長著，利用化石和疊積定律(law of superposition, 即上層地層的年代較下層為晚)，地質學家們將許多岩層按形成的年代排列出來，尤其是歐洲地區的岩層。

於是地質的時間表產生了，過去的冰河時代也證實存在過，恐龍遺骸也跟著出土，其中許多大陸的岩層均曾經歷過巨大的板塊運動，地質圖呈現出前所未有的完整風貌。

就學術機構而言，地區性、全國性和國際性的地質學會均陸續成立，全國性的地質調查所也設立，地質刊物快速成長，地質方面的書籍也令人目不暇給，收集標本更成為許多人熱中的工作。

如果將地質學稱為十九世紀的科學主流倒是一點也不誇張，同時它並不僅限於專業的地質學家，已往從來不會有任何一門科學會如此普及(尤其是在英國更能看出這種現象)，或許以後也不可能如此。地質學的教科書是當時的暢銷書，同時對知識階層而言，地質學的講授是十分受歡迎的。

為什麼會有這些現象發生呢？大部分的原因當然是因為知識啓發上的渴求，然而並不只是如此而已。地質學和機器一樣，都是工業革命的關鍵所在，地質調查和研究對尋找新工業體系中所需要的原料是不可或缺的，如煤、鐵、建材、沙、黏土、混凝土材料和水等；地質研究可以找出工業社會外在架構的最佳設置地點，如運河、道路、鐵路和土木工程結構等；而且地質學的知識和



經濟層面則互相受益，進行開鑿隧道、道路或其他挖掘工程時往往會發現以前所不知道的地質剖面，並為工業應用提供新的地質資料。

不論在過去、現在或未來，地質學的雙元性——純學術和應用的——都將繼續扮演不可或缺的角色，不過這兩者所占的比例卻會隨時間而變。在十九世紀前半葉，地質學的知識和經濟層面是一起蓬勃發展的；爾後一直到二十世紀初，知識上的鮮度逐漸消褪，但是地質學卻始終是工業社會中重要的一員，它在經濟上所扮演的角色隨著人口的增加和新原料的發現(如石油和稀有金屬)而益形重要。但是若以基礎科學的角度來看，地質學中可供發掘之處似所剩無幾，而變成例行公事似地乏味。

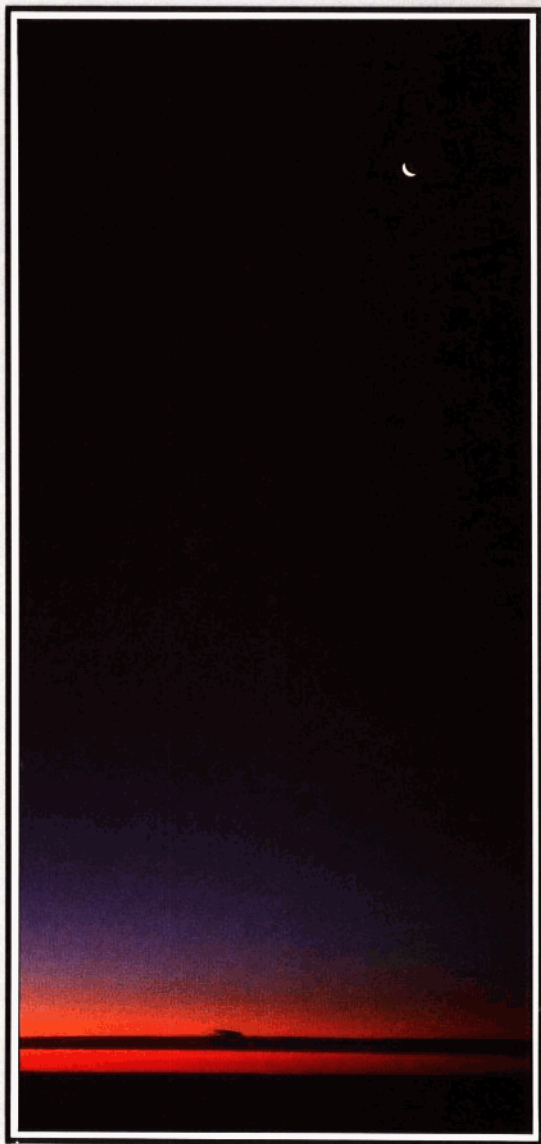
## 第二次革命

但是後來又發生了一些重大的變化，一九六〇年代板塊構造說(plate tectonics)被提出後，展開了地球科學的第二次大革命。

以前認為大陸是靜止的，後來卻發現大陸一直在漂移中；以前被認為是古老而不活動的洋底，如今卻發現是既年輕而又處在活動狀態；以前認為地球的外殼是單一的實體(海洋和大陸部分均包括在內)，如今則分為數塊相互摩擦、運動的板塊。

這個新的全球構造學說使我們對地球的看法完全改觀，而且地質學的理論基礎也鮮有不受其影響的。它不但增長了我們對地球的認識，同時也使我們了解自然資源是如何形成的，以及在何處最可能找到這些資源。在理論和實際上對地球的研究工作仍然繼續齊頭並進，但是速度卻增快了許多。

在這本書中我們主要是從板塊構造的觀點來看待地球，但是這並不是說第二次革命以前的地質學知識都是錯誤的，同時現在的理論也不是十全十美的，地質學家仍對許多現象一無所知，而且他們很可能會誤解某些現象。因此追尋地球的完整風貌將是永無休止的，不過就目前而言，這裏所呈現的就是今天我們所知道的地球。





# 活動的地球

1



盤古大陸——所有大陸的起源……海底擴張——將大陸之間的空隙填滿……板塊構造說……透視報導……大陸漂移說的早期理論……來自岩石和化石的證據……磁性紀錄的證據……地球外殼的板塊……板塊誕生地的調查……科學家爭議之處

直到一九五〇年代末期，大多數地質學家仍然認為地球的地殼(crust)在水平方面是不會移動的，而且大陸一直固定在它們當初形成的位置，海底地殼也是一樣的，不過由於它們位於水中，因此不受氣候的侵蝕。當時認為洋底的作用只負責收集從陸地沖刷下來的岩屑，而在其表面覆蓋著數十億年來的沈積物和源自生命肇始的化石。

但是到了一九六〇年代末期，地球科學家卻證實了這些長久以來為大家所認定的「事實」是錯誤的，大陸可在地球表面上運動，洋底地殼(oceanic crust)也在持續地運動，而且在地球存在的四十六億年當中，洋底地殼的出現不過是最近兩億三千萬年(只占百分之五)的事而已(◆78頁)。總之，在六〇年代和七〇年代間地質學的理論發生了一次大變革。

▶大多數人在看地圖時都會對大西洋兩側海岸的吻合感到吃驚，南美洲東岸和非洲西岸可以相互接合，好像它們曾經是同一陸塊，後來沿著不規則的裂縫裂開。地球科學很早就在這個現象上打轉，這個現象並不是最近才發現的，因為數世紀以來許多哲學家都曾提出來討論。一八五八年，史奈德首先將原始大陸的可能形狀畫出來，上圖是在創世紀不久後亞當時代的地球，下圖則是諾亞時代的地球，大洪水和地震使得陸地四分五裂。



## 大陸漂移的觀念：早期的暗示

雖然在一九六〇年代以前，大多數的地球科學家仍然拒絕接受漂移說，但是漂移的概念卻是由來已久。

英國的政治家兼自然哲學家培根(Francis Bacon, 1561~1626)是第一位比較大陸外圍輪廓的人，一六二〇年，他發現非洲的大西洋海岸形狀與南美洲非常吻合，他認為這種類似性是不容忽視的，但是他並沒有更進一步思考這個問題。

一六六八年，法國的道德家普拉斯特(François Placet)首先提出大陸運動的說法，他認為美洲大陸是由許多漂浮的島嶼相連接而成，不過普拉斯特的重點是放在神學上，並沒有對此說法提出任何確實的證據，不過無論如何這仍可算是一個現代偉大發現的前身(◆101~108頁)。

一七五六年，德國的神學家李連塔爾(Theodor Lilienthal)更進一步指出非洲和南美洲的海岸是互補的，如果將兩者的海岸並排，海岸完全吻合，因此他認為這兩個大陸以前是相連的。

德國的科學家兼旅行家洪鮑特(Alexander von Humboldt, 1769~1859)也曾注意到這種吻合性，也首先注意到這兩個大陸在地質上的類似性，不過一八〇一年他所提出的解釋是大西洋是由大洋流沖擊而成的。

## 早期的漂移假說

第一位對大陸分裂和分離提出詳盡假說的是住在巴黎的美國人史奈德(Antonio Snider)，一八五八年，他推測當地球冷卻時，地表會呈不規則地結晶狀態，使得地表物質的分布非常不均勻，巨大的大陸陸塊在地球的一側形成，而使地球變得非常不穩定，直到諾亞大洪水(Noah's flood)時才重新再恢復平衡，同時火山物質則從陸塊裂縫中湧出，將美洲大陸推向一旁。史奈德會引用大西洋海岸的吻合、非洲和南美洲對岸岩層及化石的類似性來支持他的論點。

不過，史奈德所想像的大陸運動並不是短暫的漂移，而是瞬間發生的天災(諾亞大洪水)，他所提出的假說便不受地質學家的重視，因為大多數地質學家都反對劇變說(catastrophism，指過去的地質事件都是突然發生的)，而比較贊同均變說(uniformitarianism，指過去的地質事件和今天所能觀察到的非常類似)。均變說排除了突發的超自然事件，而認為地球表面的任何變化都應該以目前仍在發生的作用加以解釋，然而對地球內部的作用依舊是一無所知。

# 走在時代之前的板塊運動理論

來自極區的遷徙



▲泰勒推測北極原有一大片大陸，由它分裂而來的碎片在地球自轉的離心力作用下而分散各地，它們的前緣更堆積形成褶曲山脈，例如阿爾卑斯山脈、洛磯山脈和喜馬拉雅山脈。

▼地球的運動一度被認為是因爲神祇的力量，如達拜(Francis Darby, 1793~1861)所繪的「大洪水」中所示。

成爲一門科學的大陸漂移說

第一位將大陸漂移說賦予真正科學觀點的是美國地質學家泰勒(Frank Bursley Taylor)，他首先在一九〇八年的一次演講中提出，然後兩年後出版他的論文。泰勒認爲地球的北極和南極原來分別有兩大塊陸塊，第三紀時這兩大陸塊開始向赤道緩緩移動，移動的過程中陸塊不斷地破裂，同時它們的前緣也密合形成第三紀的山區，如阿爾卑斯山和喜馬拉雅山都是。

不過，當時爲了一些原因，使得泰勒並未受到地質界的重視，第一，只有極少數的地質學家能夠接受這種與已任何理論都大相逕庭的想法，尤其地質學的科學理論基礎早在十八世紀末就已奠定了。

第二，泰勒的證據缺乏任何傳統古生物學和地層學(stratigraphy)的支持。第三，泰勒不曾在大學擔任教職，也沒有在任何研究機構任職，因此他根本不隸屬於任何地質團體，他可以說是個孤獨的研究者，其經濟來源主要來自富裕的父親，他的健康狀況非常不穩定，每當作野外旅行時都要由醫生或太太相伴而行。其他地質學家均視他爲難以預測的人物或是一位怪人。最後，原本應該由泰勒所引起的注意力都轉向德國氣象學家和天文學家韋格納(Alfred Wegener, 1880~1930)，他可以說是大陸漂移說的有力支持者。



韋格納在地圖上說明大陸漂移說

圈外人的韋格納

韋格納是柏林一位福音傳道牧師的兒子，他在天文學方面獲得較高的學位，並在大學裏擔任氣象學的教職，他的餘生也大多專注於氣象學的教學和研究工作，最後在一次格陵蘭探險行動中喪生，而未能親眼看到他的假說終於獲得證實。韋格納並不是地質學家，而地質學團體一般非常憎恨圈外人介入他們的領域，韋格納在美國甚至被一些人視爲吹牛者，而忽略了他是另一個不同科學領域的嚴肅科學家。



## 「超大陸」理論的誕生

地球科學家將韋格納視為大陸漂移觀念的真正前輩，這並不是因為他是第一位提出這個想法的人（他根本不是），而是因為他是第一位提出非常詳盡的科學正面資料的人。

韋格納的第一篇有關大陸漂移說的文章在一九一二年發表，他的書「大陸和海洋的起源」(Die Entstehung der Kontinente und Ozeane)則在一九一五年問世。不幸的是，這本書的第一版在德國以外的地區仍不為人所知，主要是因為第一次世界大戰，使它無法被翻譯成他國文字。一九二〇年的第二版依然沒有被翻譯成其他文字，但已在歐洲引起廣泛的興趣。不過一九二四年的第三版則被翻譯成英文、法文、西班牙文、瑞典文和俄文等版本，並且立刻在英國和美國引起廣泛的討論。

韋格納的主要結論是地球原來是一個超大陸，也就是所謂的「盤古大陸」，在中生代末期盤古大陸開始分裂，它的碎片（也就是今天的大陸）緩緩地漂移到目前的位置。韋格納為了支持他的說法，收集了許多不同領域的證據，如地質學、地球物理學、古生物學、生物學和古氣候學等。

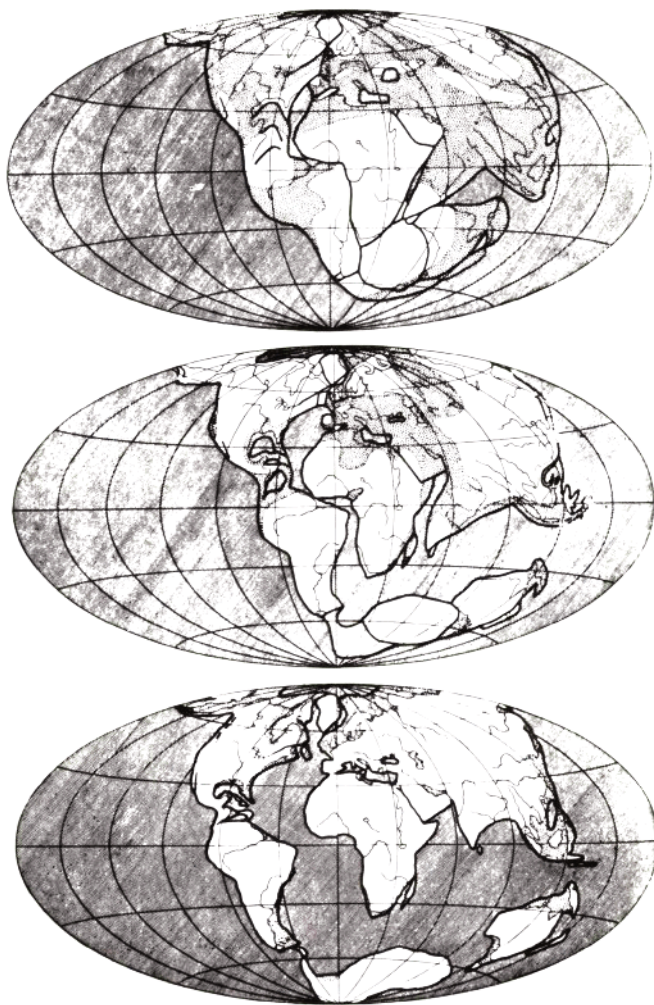
## 對於極富挑戰性理論的不同接受程度

英國許多地質學家一開始都對韋格納的想法抱著同情的態度，雖然他們一直認為這種說法根本無法證實。相反地，美國的反應則一般不表示同情，反而充滿了敵意，甚至有時是充滿怨恨的。韋格納的每一證據都經過仔細審核，最後發現並不充足，地質學家可以在不需要漂移說的情況下而提出另一種詮釋方式。

大陸漂移說的機制一直不曾清楚過，韋格納曾經提出大陸運動的力量來自地球的自轉，但是這對於大陸漂移說的同情者而言，說服力依然不夠。

不過到了一九二〇年代末期，包括英國最著名的霍姆斯(Arthur Holmes)在內的一些地質學家提出的說法認為地球的上部地殼雖然呈現固態，但是並不一定是無法移動的，長久以來，它很可能會緩緩地移動，使得地殼可以向兩側移動。如果上部地殼含有能量來源，例如熱，則其對流很可能可以推動大陸的移動。不幸的是，人們仍難以接受大陸漂移說的想法，不論大陸下方有多大的力量，它們怎麼可能可以穿透固態的海底呢？一九二九年，霍姆斯認為大陸和海洋地殼相互推擠的地區會造成山脈的隆起，他同時認為這個地帶的高溫和高壓，將會使岩石的密度大增，於是又沈入地面之內。在這種方式之下，大陸便逐漸離開了盤古大陸。

但是不論霍姆斯的論點是利或不利，這篇一九二九年發表的論文並未受到重視，很可能是因為它發表在一名不見經傳的期刊中。一九三七年，南非地質學家托伊特(Alexander du Toit)所出版的「我



們的流浪大陸」(Our Wandering Continents)也遭到忽視，托伊特在這本書中熱切追隨韋格納的觀點，並作了一些修正以加強韋格納的假說，同時增加許多支持的新資料。自從一九六〇年代大陸漂移說終於獲得平反之後，大陸漂移說的相關著作的二手影印稿也變得相當稀罕。

一九二〇年代，韋格納假說出現之後引起了一陣大騷動，但是接下來除了一些具有影響力的地質學家加以支持之外，直到一九五〇年代末大陸漂移說仍然不曾引起廣泛的注意。然後新的證據開始從一始料未及的方向中湧現出來，於是展開了地球科學的大變革，這已是韋格納首度發表大陸漂移說的五十年後了。

▲韋格納於一九一二年繪製的地圖，和我們今日利用大量累積的知識所繪成的古地理圖非常相近，上方的地圖是石炭紀前期的狀態，當時仍是單一的盤古大陸，中間的地圖則是始新世，此時盤古大陸開始分裂；下方則是第四紀的後期，幾乎可以說是目前的狀態。地圖上的塗黑部分則代表著淺淺的大陸海。

在一九六〇年代以前只有地表的特徵可以應用在大陸運動的研究上。

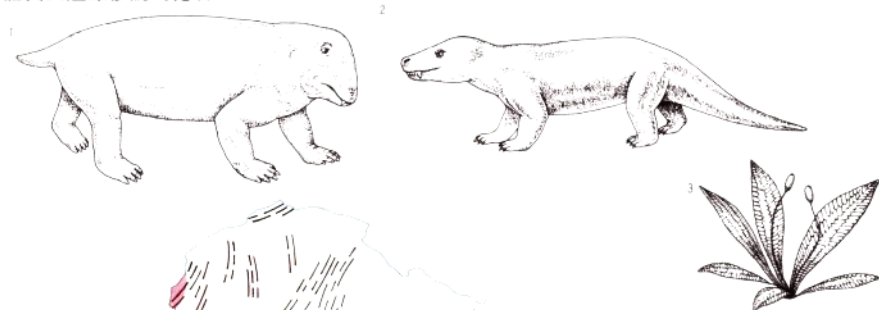
## 岡瓦納大陸化石

有關大陸漂移說的重要古生物學證據是來自在石炭紀和三疊紀之間存在於岡瓦納大陸的生物化石。有一種蕨類種子植物「舌羊齒」(*Glossopteris*)幾乎在五個主要陸塊都能發現，即使在馬達加斯加島(Madagascar)也有。而在大陸漂移說被接受之前，有些古生物學家認為這種植物的種子可以飛越數千公里的海洋。

水獸龍(*Lystrosaurus*)很早就在南非和印度發現了，一九六九年則又在南極大陸找到牠的遺骸。此外，中龍(*Mesosaurus*)和大頭龍(*Cynognathus*)的化石在非洲和南美洲都曾發現過，由於這些爬蟲類並沒有能力橫越廣闊的海洋，因此曾錯把這個現象歸因於當時這兩個大陸之間有陸橋相連。



## 證實大陸漂移說的化石



◀▲許多不同種類的生物化石散布在各個大陸上，表示有部分大陸曾經相連。生活在淡水的中龍(上圖)和類似狐狸的大頭龍(圖2)在巴西和南非均曾發現過。類似河馬的水獸龍(圖1)在非洲、印度和南極大陸的三疊紀岩石中均發現過；舌羊齒(圖3)則在所有南半球的大陸岩層均曾發現過。



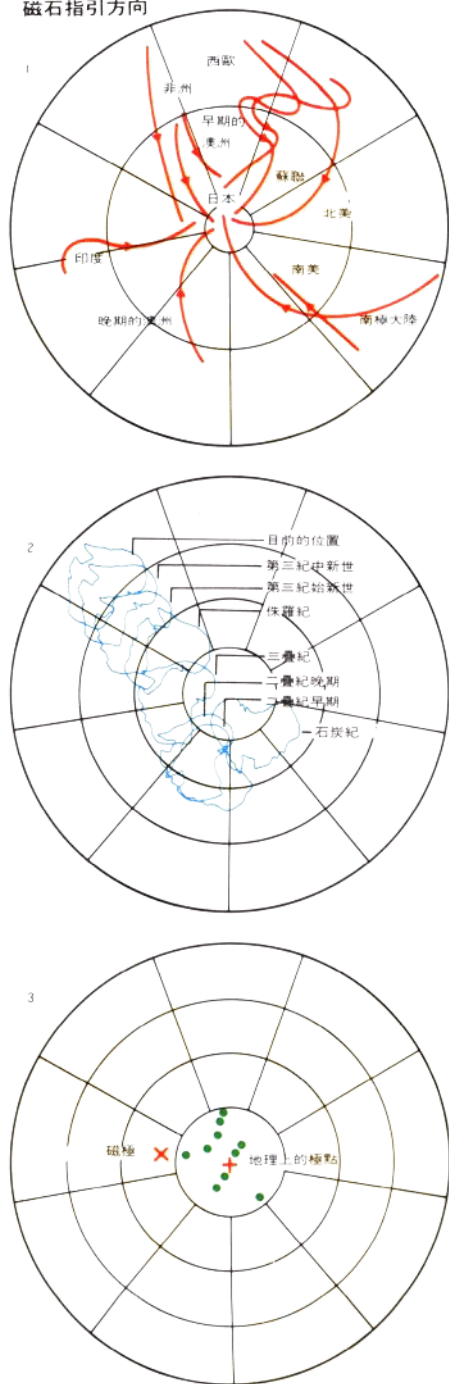
## 地質上的關聯性

大陸漂移說的重要地質證據是來自大陸邊緣部分的岩層和構造特徵的吻合。南美和非洲都有二十億年以上的地盾，其間被五億五千萬年的岩石分隔開來，將這兩個大陸重新擺回漂移前的位置時，這些岩石和界限都相當吻合，大陸的構造走向也相當一致。

反對漂移說的人一度將這種關聯性視為偶然，或是認為這兩個大陸之間曾有陸塊存在，只不過後來沈沒了。

非洲西南部和巴西東南部的晚期地質史提供更多有關漂移說的證據。在五億五千萬年前至一億年前之間，這兩個大陸仍然相連，因此在這段時間所發生的侵蝕(erosion)、沈積(sedimentation)、冰河作用(glaciation)、氾濫(flooding)、煤的形成、造林(afforestation)以及火山活動(volcanic activity)等都同時發生在這兩個大陸上。後來巴西進入熱帶，而非洲的西南部則變成沙漠，根據大陸漂移說，這是非洲和南美分裂的結果。

## 磁石指引方向



現今所有的大陸曾合併成一塊超級大陸 (supercontinents)，即盤古大陸 (Pangea)，被唯一的原始大海 (Panthalassa) 圍繞著。盤古大陸的陸塊形狀奇特，被原始大海中狀似三角形的古地中海 (Tethys sea) 一分為二。

數億年來一直保持相當完整的盤古大陸大約從二億年前起開始分裂，第一次分裂是發生在三角形的頂端，因為這裏是盤古大陸最狹窄的部位，於是產生了兩個較小的超級大陸——勞亞古陸 (Laurasia) 和岡瓦納大陸 (Gondwana)，北方的勞亞古陸包括今天的北美洲、歐洲和亞洲的大部分，南方的岡瓦納大陸則包括南美、非洲、澳洲、南極大陸 (Antarctica) 和印度。

大約一億八千萬年前，岡瓦納大陸開始分裂成南美—非洲、澳洲—南極大陸以及印度。到了一億二千五百萬年前，南美洲和非洲分開而形成南大西洋，印度則迅速北移至亞洲，到三千萬年前印度撞上亞洲大陸，並連成一塊；澳洲和南極大陸在四千五百萬年前分離，而北美和歐洲則在其後五百萬至一千萬年才告分離。此後這些從盤古大陸分裂出來的大陸陸塊緩慢地向北漂移到今天的位置 (南極大陸例外)，同時還進行著各種不同程度的轉動。

非洲與歐亞大陸一直相距不遠，而且一直在向北移動，如今中東地區已經與歐亞大陸連成一塊，而且與西班牙的末端也愈來愈靠近，長此以往，地中海將愈來愈狹窄，終有一天會完全消失。

最典型的大陸碰撞 (continental collision) 是印度與亞洲大陸的結合，印度從岡瓦納大陸分離出來之後一直漂移到今天的位置，每年約移動了十七公分，而一般的大陸漂移速度也不過每年〇至七公分而已。

◀ 岩石形成之後，其中的磁性粒子會沿地球磁場排列，利用這種特性可以找出岩石形成時地球磁極的位置。研究許多不同年代的岩石以找尋磁極位置時，可以發現磁極位置會隨時間而改變，而且似乎是沿著一條環繞地球的路徑而改變，這條路徑稱為「極移動線」。各大陸的極移動線不同<sup>1)</sup>，表示各大陸移動方向也不盡相同。例如澳洲在過去三億年內從南極區域移至目前的位置<sup>2)</sup>。雖然不免有誤差發生，但是探測過去七千年的岩石所得到的極點和現在的極點非常接近<sup>3)</sup>。

## 古地磁學：最後的證明

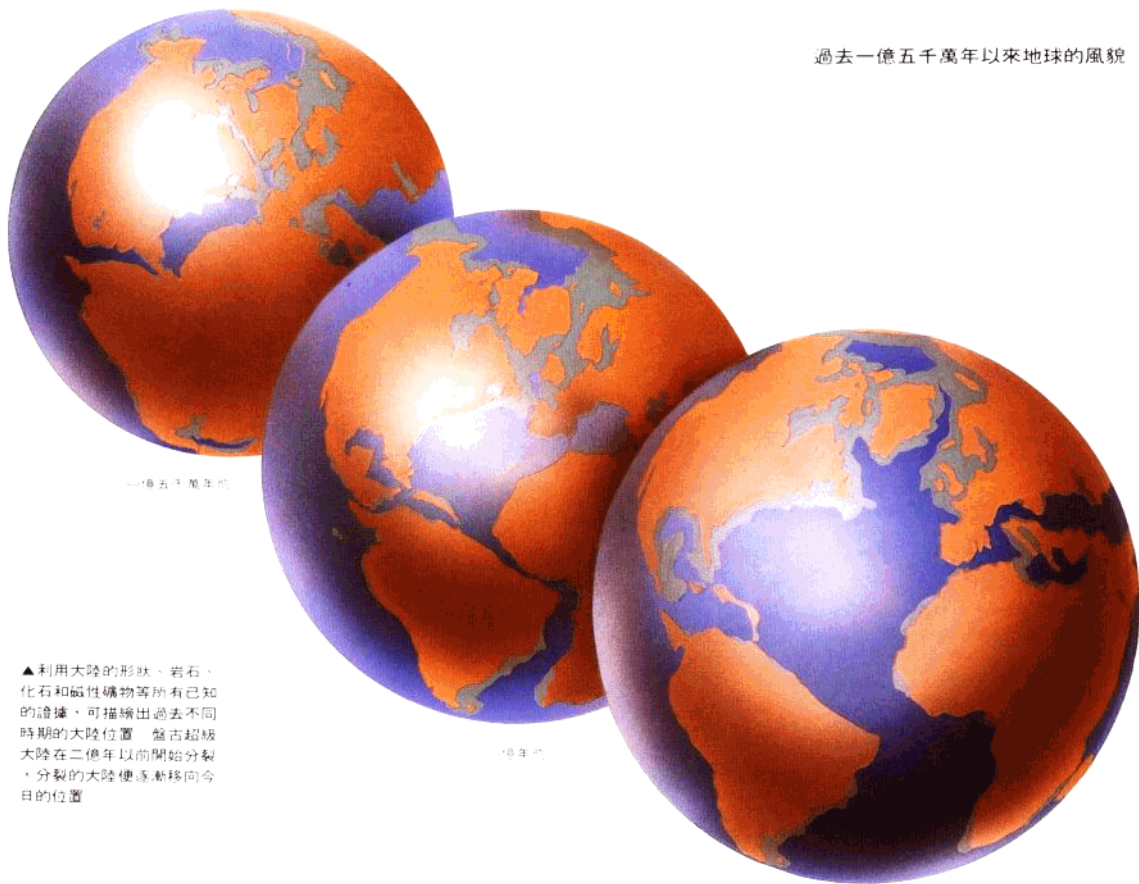
在一九五〇年代晚期，地球科學家發現他們可以測量出岩石所殘存的微弱磁性 (► 45~56頁)。岩石形成時，其中的磁性粒子均會依照地球磁場而調整方向，只要物理學家能測得磁性粒子的排列方向，利用簡單的三角測量法就可以推論出岩石形成的緯度，以及其所在大陸的方向。這些數字可以指出當時北磁極的位置，而在世界地圖上畫出古地磁極的位置。

地球科學家根據同一大陸上的古老岩石所測得的數據，描繪出古地磁極時，發現極點會沿著一個平滑的曲線 (極移動線, polar wander curve) 而遠離目前的極點。

有兩種可能的解釋，一是磁極正逐漸移向它目前的位置，另一則是大陸的移動。

比較各大陸的極移動線，發現它們不盡相同，由於只有一個北磁極存在，因此這些不同的曲線是各大陸移動的結果。

過去一億五千萬年以來地球的風貌



▲利用大陸的形狀、岩石、化石和磁性礦物等所有已知的證據，可描繪出過去不同時期的大陸位置。盤古超級大陸在二億年以前開始分裂，分裂的大陸便逐漸移向今日的位置。

100年前

500萬年前

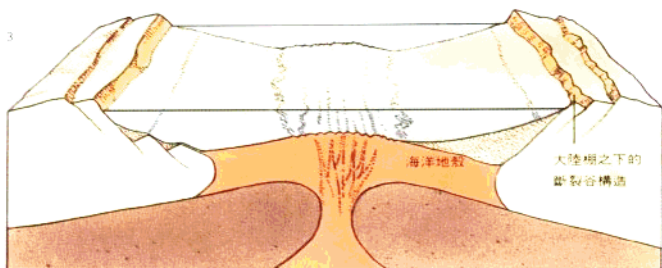
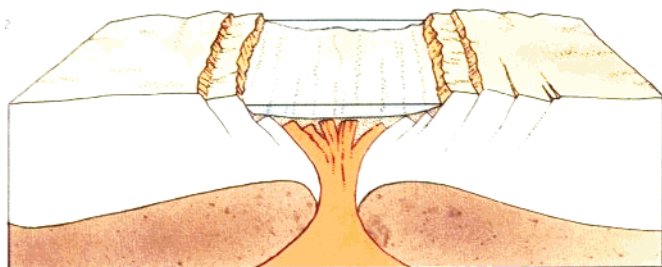
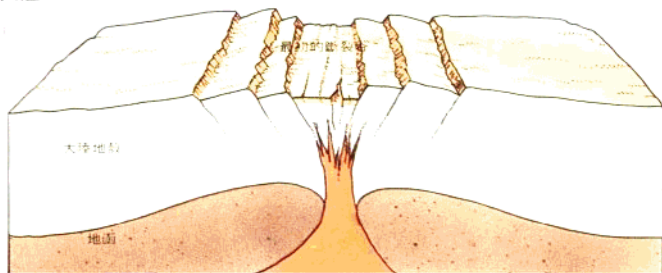


◀▶超級大陸分裂成較小的陸塊時，在其脆弱部位常會產生一連串的裂縫或斷層(fault)，斷層環繞的陸地會下陷而形成斷裂谷(rift valley)。東非的大裂谷(Great Rift Valley, 左圖)由東非經過紅海一直延伸到約旦河谷，在這裏大陸邊移仍在繼續進行，而以每年約數公分的速度移動著，再過五千萬年，這個大裂谷可能會變成像紅海一樣寬，東非也會分裂成幾個分離的陸塊，如同五千萬年前馬達加斯加脫離非洲一樣。

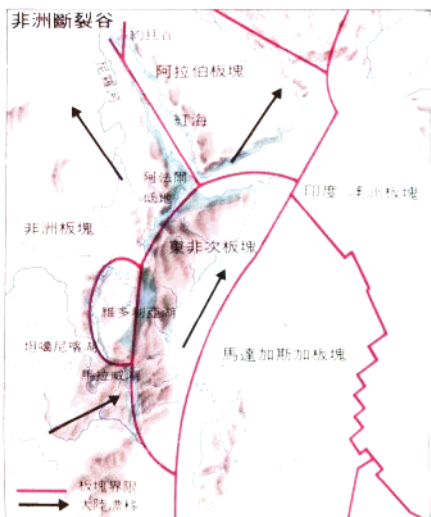


▶大陸地殼之下的物質向上運動時往往會使大陸發生分裂，該地區的岩石會被斷層拉裂，並形成斷裂谷地形，這些過程往往伴隨著火山活動，熔解的物質便從斷層處大量湧出！大陸的兩部分相互移開時，各自帶走斷層和斷裂谷，海水滲入後這些地形便為沈積物所覆蓋。2 非洲和南美的大西洋海岸具有這些特徵，表示兩者是在沿著斷裂谷進行分裂的。

## 大陸的分裂



大陸地殼



大陸漂移說(continental drift)終於在一九五〇年代末和六〇年代初所提出的古地磁學(paleomagnetism)中獲得證實，在這之前，大多數贊成漂移說的地質學家都還將地質學(geology)、古生物學(paleontology)和古氣候學(paleoclimatology)所獲得的傳統資料視為模稜兩可或是完全不足以肯定的，不過，一旦大陸漂移說被地質學以外的科學證實之後，地質學家們便開始來認真思索有關大陸移動的想法。

大陸漂移說不僅證明了許多海峽(嚴格來說是指大陸間的邊緣)的地理吻合絕非巧合，同時也能解釋為何在遠隔重洋的大陸之間會出現有些連續而又屬於特殊年代的岩層和構造特徵；對於某些經歷特殊演化過程的動植物，其化石卻出現在相隔甚遠的陸地等問題；以及地質時間(geological time)上不同的階段中，不同地區內氣候型態分布的不同也提出了合理的解釋。整體來說，大陸漂移說對於岩石、植物和動物的地理分布可以比靜止的陸塊提供更為完善的解釋。