

地球的內部構造

В. Ф. 彭契科夫斯基 著

科學出版社

地球的內部構造

B. Ф. 彭契科夫斯基 著

王子昌 劉孝叔 譯

科 學 出 版 社

1957年2月

內 容 提 要

本書扼要地論述了研究地球內部構造的一些問題，像大陸和海底的構造特點，地球內部的溫度、壓力、密度、彈性、地磁等，以及闡述了最近幾年來學者們所爭論的各種地殼形成假說，特別是介紹了蘇聯在運用地球物理學的方法來研究地球的內部及其物質狀態、性質和運動現象，並用地震學的數據來論證地球內部的各種自然現象以及相互有關問題的概念。

本書可供地質學家、地球物理學家、地震研究工作者的參考之用。

24/100/22

地 球 的 內 部 構 造

ВНУТРЕННЕЕ СТРОЕНИЕ ЗЕМЛИ

原著者	[蘇] В. Ф. 彭契科夫斯基 (БОНЧКОВСКИЙ)		
翻譯者	王 子 昌	劉 孝 叔	
校訂者	張 文	佑 等	
出版者	科 學 出 版 社		
	北 京 朝 陽 門 大 街 117 號 北京市書刊出版業營業許可證出字第 061 號		
原 文 出版者	蘇 聯 科 學 院 出 版 社		
印刷者	上 海 啓 智 印 刷 廠		
總經售	新 華 書 店		

1957 年 2 月 第 一 版

書號: 0693 字數: 120,000

1957 年 2 月 第一次印刷

開本: 787×1092 1/25

(滙) 0001—9, 260

印張: 5 23/25 插頁: 1

定價: (10) 0.90 元

目 錄

緒言.....	1
大陸和海洋底部的構造特點.....	3
地球內部的溫度.....	13
地殼形成的假說.....	21
地殼的化學成分.....	23
地球內部的密度.....	28
重力加速度和它在地球內部的分佈.....	35
地球內部的壓力.....	46
地球內物質的受範性、流動性、剛性、壓縮性和堅韌度.....	48
有關地球構造的地震數據.....	57
根據地震數據研究地球內部構造的某些結果.....	70
根據地震數據論地殼構造.....	85
根據地震震源分佈數據論地殼構造和地殼下較深部分構造的 某些特點.....	96
根據表面波數據論地殼構造.....	102
地球內部的彈性.....	110
切變模量.....	110
體積彈性模量.....	117
地球內的非彈性過程.....	119
地球內的力.....	122
地磁和地球的內部構造.....	137

緒 言

關於地球內部構造的問題不僅是爲了要認識它，主要是因爲它在實用方面非常重要，它與有用礦藏的產狀和分佈，山脈的構造和一般地形的形成，火山和地震的過程等問題都有直接聯繫。

從自然過程相互聯系的觀點來看，我們不能認爲地球的內部構造與地面附近地層中所發生的各種現象彼此沒有關連。相反地，地面的起伏和它的基本形狀一定與整個地球的起源和發展的整個過程有關，因而也與宇宙各種現象發生的先後都有關係。

因此，從辯證唯物主義的立場來建立的地球起源和發展的假說，是對了解地球發展的原因和過程以及地球構造的一個最重要的步驟。這假說是自然現象相互聯系的基本環節，認識了這個環節，就更可以揭開地球上其他一些過程和現象之謎。

由此可知，研究地球內部構造，應該建立在許多性質不同的科學的研究上；這些科學就是天體演化學、地質學、大地構造學、地球物理學、大地測量學、物理學、數學和哲學。

不過我們直接能夠研究的只有地球的一小部分，也就是只能研究到從地面深至 5 公里的這一部分。至於研究相當深的地方所發生的現象，却是一件極端困難的事。

山脈的褶曲、岩石露頭和岩石分佈的特徵可能給予我們深至十數公里或更深處地球構造的概念。但這區域也只是讓我們知道地球內部作用力的表現的最外層。

科學安排了一些地球物理學的方法來研究地球的內部。在這些方法中主要的就是根據研究地震所引起的彈性振動的、地震學的方法。這種彈性振動在全部地球中傳播着，因而可以斷定很深地方物質的性質。

磁性的方法也是地球物理學方法之一。應用這種方法，可以發現地面上每一點的各磁要素都在很緩慢地變化，所謂長期的變化，根

據這些變化可以斷定地球內部可能產生的各種過程。

研究重力隨時間而變化的重力測定方法和研究地球內部電流透入的電學方法，目前正在發展階段；這些方法對於地球構造的細節都可能有新的發現。

對於在實驗室內做成相當於地球各種深度條件的模型，以及能夠斷定地球內部物質的狀態和變化情況的物理實驗的巨大作用，也是不可忽視的。

儘管使用上述研究方法是得到了巨大的成就，但仍有許多問題尚未明確了解。特別引起爭論的是關於地球內部物質的運動和這種運動對於地形形成的影響問題，以及關於地球內部作用力的性質和大小的問題。

關於地球深部物質的構造、狀態和運動情況等問題，凡屬不明確了解的地方，一經指出後自然就產生許多不同的假說，有時甚至是彼此互相矛盾的。

近幾十年來，當研究在高溫和高壓下的物質的實驗結果，開始被人熟知之後；對於地球內部物質狀態就發生了各種不同的說法。

某些學者認為地殼下面的物質是膠狀體，而且粘滯性很大。震源在地面下 700—800 公里深度處的深震源地震肯定存在這一事實，就表明在這深度處存在造成平移斷層類型的破壞作用，並且對於這說法目前已證實到某種程度。另外一種觀點假定地殼下面的物質是固體狀態。這種看法由地球的剛性模量的大小所證實。根據觀察地殼潮汐和地極轉動週期的數據，這剛性模量等於 10^{12} 達因/厘米²，也就是相當於鋼的剛性。不過關於地殼內層物質是固體狀態這一假說未能很圓滿地說明在地面下相當深度處地球內部壓力不均衡性的消失，也就是未能圓滿地說明地殼均衡面現象。關於這點，贊成地殼內層物質為固體狀態的傑弗里斯認為地殼均衡面現象只限於地殼的個別區域。必須指出，地殼內層物質是固體這一假說排斥了地殼內層物質水平位移的可能性，並且也與現代把地殼內層物質的水平位移。

作為地球表面形成廣大的起伏地區的主要原因之一 這種看法相矛盾。

地核的構造是一個較為特殊的問題。顯然,根據蘇聯學者的研究應該認為地核本身有着複雜構造的論證是可靠的;它分成兩部分:外部(深度從 2900 公里到 5000 公里)和內部(深度從 5000 公里到地球中心)。

地核的外部具有液體或氣體的性質;內部大概是固體。

由於有關地核的數據不夠充分,所以關於這一方面問題的討論至今還沒有得到發展。

大陸和海洋底部的構造特點

地球表面構造的各種主要特點是很有趣味的,這正是由於地球的形成和發展的結果,以及地球內部作用力的影響的結果,尤其是在地殼中和地殼下面物質作用力的影響的結果。

地球表面構造的第一個特點,就是由大西洋分開的大陸的海岸線有着地理上相似的形狀,也就是南美洲和北美洲的東岸與歐洲和非洲的西岸兩者輪廓的相似性(圖 1)。在大西洋的底部沿着南北方向,綿延着一道形狀也和海岸線相似的高地。大西洋中部的海底高出與它毗連的東岸和西岸附近的海底約 2000 米。

上面所講的這種巨大客體間的相似性大概是唯一的了。不過在地球表面上,也還存在着一些較小的客體間的相似例證。其中主要的是紅海兩岸形狀的相似。由此顯見,海岸外形的相似性並不是偶然的,而可以用地球表面個別部分的移動過程來加以解釋。

地球表面構造的第二個特點就是世界廣大的地區:亞洲、非洲、北美洲和南美洲都是北部寬大,而南部狹窄;澳洲也是如此,不過程度上比較小些而已。此外陸塊狹窄的南端並有向東的彎曲。在同一地圖(圖 1)上,特別是在南美洲和北美洲,所有這些大陸構造的特點都可以清楚地看出。

向東彎曲的外形彷彿標誌着滯後於整個大陸的向西移動。這可

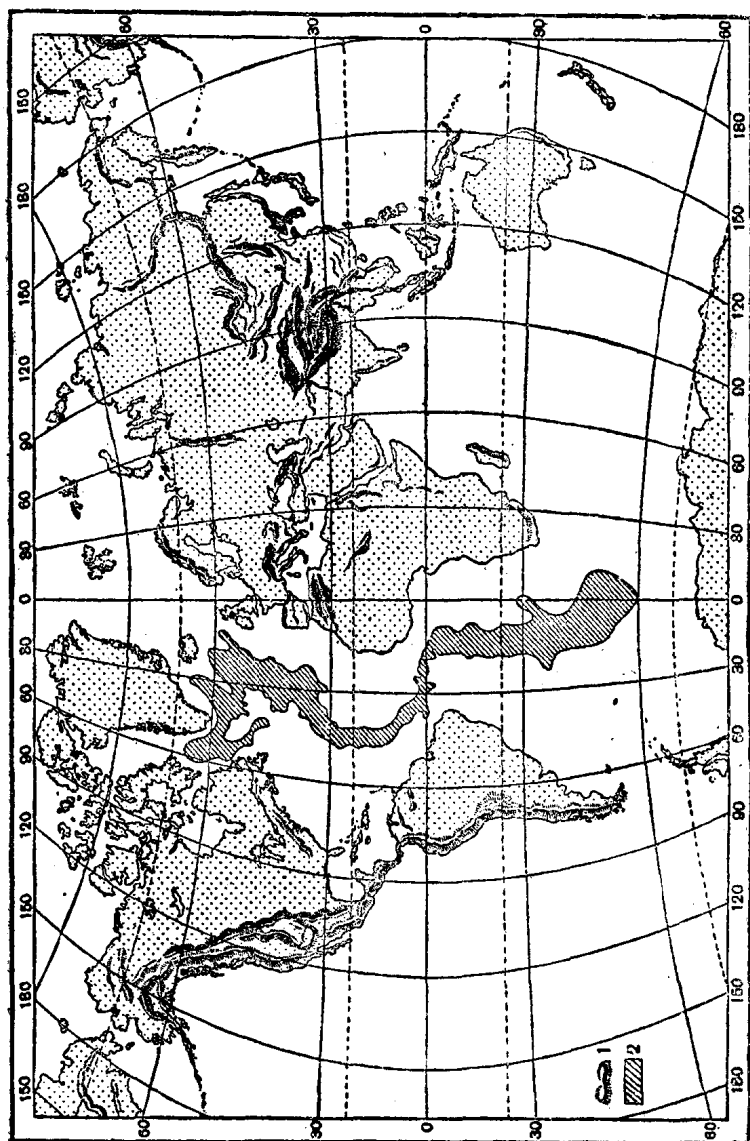


圖 1 世界自然地理圖

- 1. 在大陸上的山脈; 2. 大西洋底部的隆起

從南北美洲的南端和印度支那東南岸的島嶼羣對整個亞洲大陸的關係上特別容易看出來。無疑地,上述的外部構造輪廓的共同性,也正是由某些共同的原因所引起的。

此外在亞洲大陸東岸一帶,由阿留申羣島、勘察加半島和千島羣島、庫頁島(薩哈林島)和日本島、朝鮮半島和琉球羣島等島弧的形成也是很有意義的。這些島弧彷彿是按照同一計劃做成和具有共同發生原因的。我們可以認為是特別的,在地球表面的其他地方幾乎從未遇見過這樣的島弧。

在島弧以東沿着島弧的方向分佈着太平洋最深的區域。每一個島弧都有它自己的火山系統。島弧的構造、平行於島弧的深海溝的形成和火山的發生,彼此間都有因果關係的。島弧和海洋最深區域的分佈如圖2所示。

無可懷疑,所有舉出的地球表面上構造的各種特點都和地殼中物質的運動有關,而且可能還和更深的地球內層物質的運動有關。

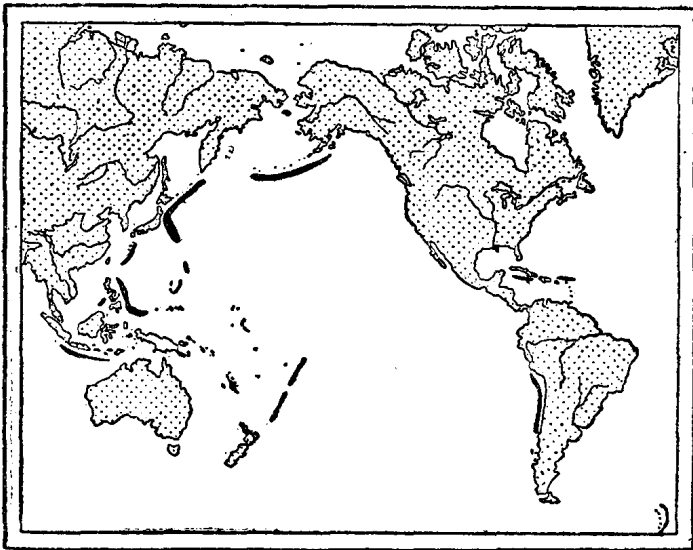


圖2 在島弧區域形成海洋的最大深度

顯然地，地殼和地殼下面物質的運動是構成地球表面起伏的一個最主要原因。

這種說法的可疑之點就是：水平的運動可能是非常微小的，在目前的情況下，科學上還不可能在短短數年的觀察中量度出來。但若把地殼的水平移動當作實際情況的話，我們就可容易解釋地球表面構造的許多特點。有鑒於這問題的巨大重要性，下面舉出一些具體的科學數據。

比較 1907 年的丹麥經度調查記錄和 1870 年的觀測資料，就可以確定格陵蘭與歐洲之間距離的改變是每年 32 米。雖然得到經度的改變的數值是比測定的誤差大許多倍，但仍有許多學者並不認為這些結果是水平移動的證據，他們以為舊資料的精確度是不足取信的。

在 1926—1933 年間得到了新的而且更精確的結果。

在 1926 年，52 個天文台在同一個時候，進行精確的當地時間的測定，以便計算天文台之間的經度差。在 1933 年又把這測定重做了一次。仔細研究觀測的資料以後，表明了：在這 7 年中，緯度 $\varphi = 45^\circ$ 處歐洲與美洲之間的距離每年變動的平均數值是 65 厘米；經度變動的各種標記表明了，在這期間內亞洲和美洲大陸彼此靠攏了。

要證明水平移動可應用大地測量法，在許多大的多邊形上重複進行準確測量。最好的方法就是決定每個水準點（觀測點）兩個位置的重複三角測量法。這些水準點位置變動的一般情況使我們對於位移的大小和方向有了一個概念。在 1801—1901 年在南巴伐利亞曾用三角測量法進行過類似的測定。測量的結果如圖 3 所示。從圖上可以看到，所有多邊形上的水準點都移動了，而且大體上是沿同一方向移動，以及位移的大小平均是每年 1 厘米。

還有一些剩留變形的較為顯著的例子，它們可在地震前後應用大地測量的方法來查明。1930 年在日本伊東省曾發生地震，震前和震後在該處都曾進行大地測量，把測得的結果重新畫出位移的情況（圖 4）。在圖 4 中，從斷層線的兩邊可以看出方向相反的水平斷層。

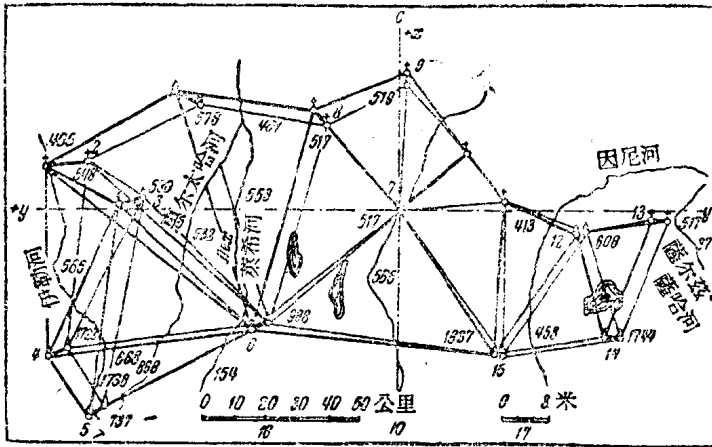


圖3 根據三角測量在將近100年內(從1801年起)南巴伐利亞的水平變位
當然,這是水平變位的特殊情況,但它正標誌着地球內部有發生同樣變位的力存在着。測定水平變位的數量的例子固然可以舉出很多,但要證明整個大陸的變位還需要進一步的研究。

研究山脈褶曲的地質剖面圖,對於在地球表面上的水平變位可以提出間接證明。褶曲的形狀表示它的形成是由於擠壓的結果,也就是由於地球表面收縮的結果。褶曲地帶的位移有時竟到達幾十或幾百公里。

地殼的鉛直運動是衆所周知的,而且也是不容懷疑的。只要回想一下斯堪的納維亞半島長期的上升就夠了;經過仔細的研究後,得知該處每百年約上升1米(圖5)。近兩千年中在希臘,已觀察出地形上有許多次的上升和下降的交替現象。阿普希倫(Апшерон)半島表現出不同的巨大鉛直運動等等。

Н. И. 尼古拉也夫¹⁾所作的蘇聯歐洲領土的鉛直運動圖清楚地指出許多地區,目前正在上升或下降的情況中。可以斷言,整個地球表面都處於鉛直方向運動的狀態中。測量地球表面斜度的結果肯定

¹⁾ Н. И. 尼古拉也夫,蘇聯最新的大地構造學,莫斯科—列寧格勒1949出版。

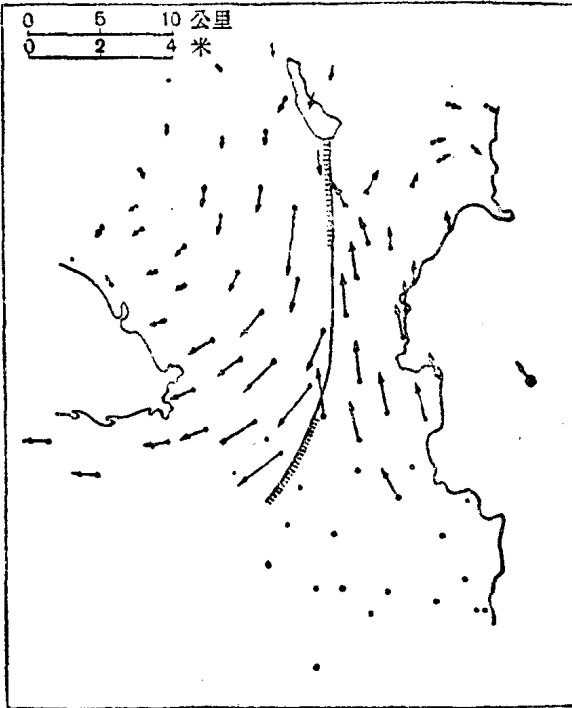


圖 4 1930 年日本伊東因地震而引起的水平變位

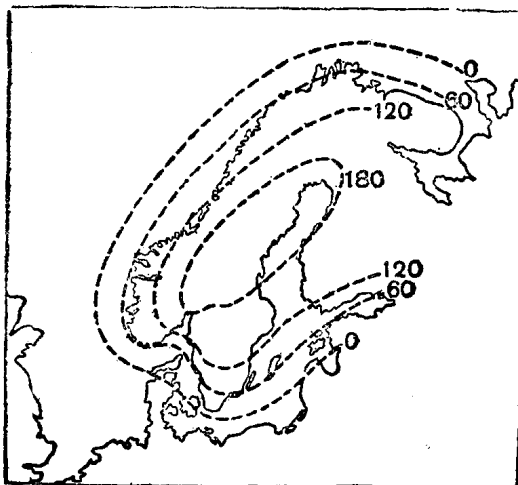


圖 5 斯堪的納維亞半島的等基線示意圖

地證明，在測量地點，地球表面受着週期性和非週期性的傾斜運動。有時傾斜相同的地方具有不同方向彼此交替的連續運動的特性。這樣說來，鉛直位移和傾斜運動無疑是存在的，而且這些運動的性質都是非常複雜的。

還必須指出，在選定的剖面上重複地進行精確的大地測量的結果，和對海面與湖沼的水面測量的結果。根據在 7 公里長剖面上重複進行大地測量的例子可以指出，在 1948、1949 和 1950 三年中在水準點的水平和鉛直位移的測量準確度是 2—3 毫米的情形下，在塔吉克斯坦的加爾姆省所作的測量，在第一年（1949）中水平和鉛直位移達到 30 毫米。在第二年（1950），位移又回到觀測的準確度範圍之內。這水準點位移的差別，照我們的意見，認為這是由於 1949 年震中距被測剖面 50 公里處的塔吉克斯坦的地震的緣故。

根據日本重複的大地測量得出許多地形變化的實例。這些全都說明：地球的自然表面並不是停留在靜止狀態，而是在不斷的變化的。爲了說明這種現象，在圖 6 中畫出了加爾姆在一年中傾斜的矢量圖，圖中所表明的就是和地面垂直的桿子的一端所描述的示意圖。

關於傾斜的問題可用北美洲蘇必利爾、休倫、密執安、伊利和安大略湖的湖岸高度的觀測來加以適當地說明。這觀測證明了，在一百年中向東北傾斜，而且沿岸地帶下沉了 9 厘米。這種現象在奧涅

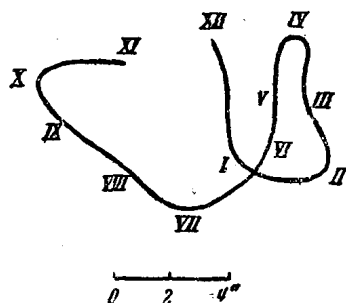


圖 6 加爾姆在一年中的傾斜曲線（1950 年）
羅馬數字代表 1950 年的月份

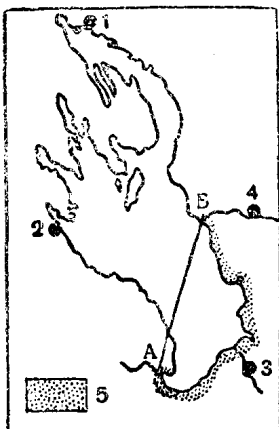


圖 7a 奧涅加湖岸的現代變位示意圖

在北岸有一些湖成階地高達 54 米

1. 波維涅茨； 2. 彼得羅查沃德斯克； 3. 韋帖格拉；
4. 費多； 5. 岸線上升運動的痕跡；AB—平衡線(根據塞姆廖科夫)

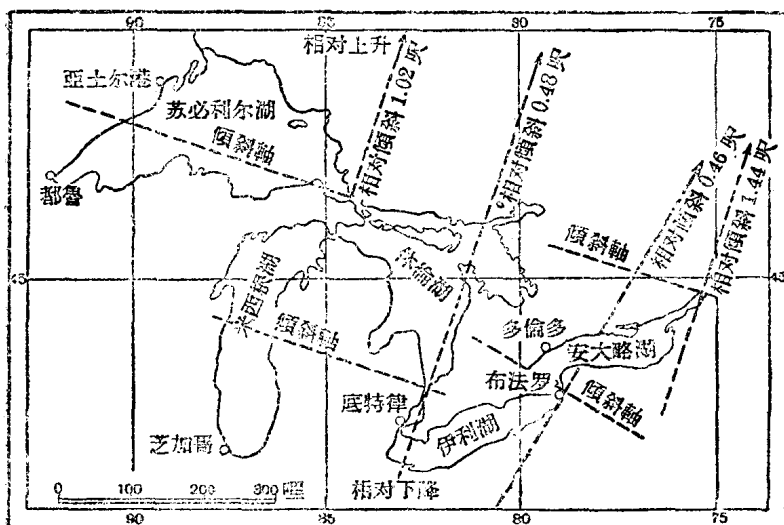


圖 76 美國每一個大湖，根據分佈在湖兩對岸的兩個觀測站測出陸地傾斜的方向。

傾斜的速度是每一百年向東北傾斜 10 厘米

加湖的北岸表現得最爲顯明，這裏有一些昇高達 54 米的湖成階地。在湖的中央幾乎可以看出一條平衡線，在它的附近由於整個湖底的普遍傾斜，湖的水位也發生了變動。所述的這些湖的示意圖，如圖 7a 和 7b 所示。

在湖沙沖積層下面所發現的泥炭分佈，也可以認爲是湖岸水位昇高的最確鑿證據。

水平運動的存在還不能用具體的數字加以充分地證明，而只能根據上述一系列的特徵來加以斷定。

如果認爲地球內部的所有過程只能引起鉛直的位移，這無非是一種妄誕的假定。例如在地球內部相等深度的不同地點的溫度差是如此大，就必然會引起地球上物質作水平的位移。這可用深度相當 4—5 公里的海底的溫度差來作爲例證。海底的溫度總保持在 $1-2^{\circ}\text{C}$ 左右，但在同深度的大陸中溫度則到達 $100-150^{\circ}\text{C}$ 。由此可知，溫度陡度較大的地殼物質在海岸地區的下面分佈得比較靠近。

對於這一點還可以補充說明，由於放射性元素的蛻變，地殼的個別部分可能得到或多或少的不同熱量。

地球在過去的地質發展時期中，海洋有時浸入大陸，而在次一時期又退出大陸，也就是所謂海浸和海退的發生。海浸的痕跡直到現在還保留着，地質學家就根據它們來回溯過去大陸的輪廓。例如現在被分開的各大陸，在古生代的某一時期，彼此之間是相互連接着的，好像是一整體的大陸。

大部分海島，從岩石的成分以及地理的位置來看，都可認爲過去是大陸的一部分。例如位於歐洲與美洲之間大西洋中的亞索耳 (Azores) 羣島，根據岩石的成分和它附近海底的地勢，可以斷定它是現在歐洲大陸阿爾卑斯山系延伸出來的海底部分。在新西蘭與澳洲之間海底的起伏地形，按照它本身的地形就可以說明它們與大陸間

的關係——說明被淹沒的貢瓦納(Гондвана)大陸。只要充分仔細察看海底深度圖,就可以找出許多過去是大陸而現在是在海底的其他例子。印度洋的西部就可以作為一個明顯的例子。

在深海洋中的許多島嶼都是屬於火山型的,是由地球內部玄武岩噴出的結果所構成的。必須注意,在這些火山島上,並沒有一點可作為大陸部分的特徵的岩石痕跡。在深海洋中,這種火山島大約有3000個,可見從海底噴出玄武岩流並不是稀少的現象。

在大陸的表面上,類似的岩漿噴出也不止一次地發現。據測量的結果,各個地方岩流噴出所佔的面積有時竟達幾十萬平方公里。例如在西伯利亞、印度和其他的地球表面上所噴出的岩漿就是這樣的。

地殼下岩漿噴出之後,岩石圈(地殼)就下陷,這可以由印度德干高原、阿根廷、大西洋北部海底等例子來證明。在已下陷部分岩石圈下面的岩漿向各方流開就是岩石圈下陷的結果。在這些情形中,當岩漿流到地面上時,於是產生附加的壓力,並且由於造成地殼下岩漿的某種不足,岩石圈下陷的過程就更容易發生了。

地質學家發現了這樣的規律性:在山脈的形成過程中,它們的邊緣部分隨着山脈本身的成長互相靠攏。這種現象是很容易說明的,這是因為岩漿流向形成山脈的地方之故。

根據所舉的幾個例子,可以肯定地講:地球表面外形正在進行的長期變化過程,當然是由比地殼本身物質還要深,並且相當大的活動性的岩漿的運動所引起的。這種位於固體岩石圈下面的流動性較大的地球部分,也叫做岩流圈(可塑殼)。岩石圈的下面有流動的受範性岩流圈存在,不但說明了地殼的鉛直運動,而且也說明了它的水平運動。

爲了研究地球的內部構造,在科學上應當利用,不但是由觀測而且還有由計算和比較得來的各種不同的數據。我們必須遵循這條道路。現在先讓我們來討論一下地球內部的溫度。

地球內部的溫度

地球內部溫度很高，可由溫泉（間歇溫泉）和火山爆發這些熟知的事實的存在加以證明。熔化熔岩的溫度達到 $1100-1300^{\circ}\text{C}$ ，這可以說是我們所知道的地球內部溫度的上限。

關於地球內部高溫存在這一事實，現代科學是用放射性元素蛻變時的放熱，以及一部分由於地殼上層重力的影響而產生的愈近地心愈大的重力壓縮來解釋。正如在幾百米深度內對於溫度變化情況的直接觀測的證明，在一年中太陽輻射線對地層的變熱作用祇深入到 $10-20$ 米。這種深度和觀測點的緯度及地理情況有關，在這種深度地方的溫度約等於地球表面上一年的平均溫度，而且經年保持不變。

在常溫層以下的地方，由直接觀測而知，這些地方的溫度隨深度而不斷增高。這現象和地球較深部分那種已指明的熱源（也就是由於放射性蛻變和重力壓縮）的加熱作用有關。

有關所謂地熱增溫級，也就是溫度升高 1°C 所增加的深度的實際數據是在隧道、礦井和基點鑽孔中直接度量而得的。根據各國測量的結果得知，地熱增溫級平均等於 33 米，而地溫陡度，也就是深度每改變一米的溫度變化，則等於 $1/33$ 。因此可以預料，深度增加每 1 公里，地溫約升高 30°C 。但在許多深達 5 公里以上的礦井中測量時，則也發現地溫陡度的數值與這平均值有顯著的差別。

在表 1 中所列出的是各處地熱增溫級的測量結果。

我們由表中看見，地熱增溫級的變化範圍是相當大的——從十數米到 104 米，這表明，地內各處的熱作用是非常不一樣的。要更顯明地表出溫度隨深度的變化，我們舉兩個例子。圖 8 中所示的是在倫格卑鑽孔中的溫度變化和熔岩流中的溫度變化。顯然地，熔岩流中溫度的複雜變化是與熔岩流到表面上以後的不均勻冷卻有關。

研究地上形狀不同的各種構造的等地溫線（也就是連接各等溫點的線）證明了，在地面上隆起的和拗陷的地方都可以測出相等的溫