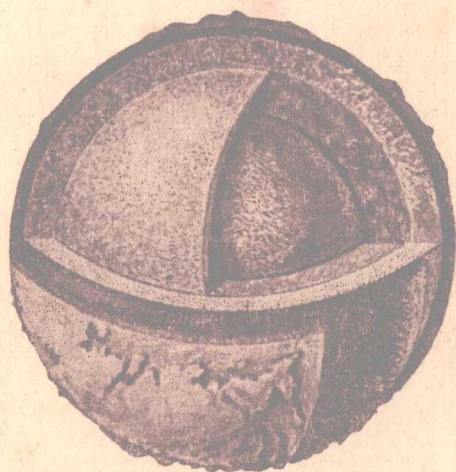


地球的內部構造

В. Ф. 邦契科夫斯基 著



地質出版社

地球的內部構造

В. Ф. 邦契科夫斯基 著

白玉 譯

地质出版社

1957·北京

目 錄

地表構造的某些特点·····	5
研究地球內部構造的方法·····	10
地球內部構造的程序·····	17
地球溫度·····	18
地球內部的密度·····	20
地球內部的重力及壓力·····	22
地球內部物質形態的某些資料·····	24
地球內部運動的假說·····	25
参考文献·····	35

关于地球内部構造的問題很久以來沒有得到解決。這個問題不僅在認識和了解地球內部構造方面極其重要，而且對發現礦產的分布規律，解決地殼運動問題以及了解火山作用與地震等方面都有很大的意義。

對地球內部構造的研究，應該建立在各種科學廣泛研究的基礎之上。解決這一問題最重要的方法在於用辯證唯物主義的觀點創立地球成因與發展的假說。

很長時間，在科學中廣泛傳播的觀點是：地球內部的物質呈熔融體狀態，而僅外殼是固態物質。其實，這個觀點早在十八世紀末葉就已形成，正是法國數學家拉普拉斯創立關於太陽系生成與發展的假說之際。拉普拉斯認為：太陽系的形成是由於物質質點發展的結果，所說的物質質點就是熾熱的氣態星云。星云繞其本身的軸而旋轉，並逐漸冷卻與收縮，進而變成稍扁平狀。在逐漸冷卻與離心力沿這一熾熱的氣態物質邊緣部增大的情形下，形成了氣態物質，這些氣態物質就形成行星。巨大的中心凝塊變為太陽。行星是被氣層包圍著的熔融體，其外部在進一步冷卻時逐漸形成硬殼。

然而，隨著時代的進展，人們積累了很多與這一論點相反的觀察資料。如與研究在地震時發生的並能穿透地球的彈性振動有關的地震資料就是其中之一。彈性振動或是地震波都證明了相當厚的地層皆為固態物質。

蘇聯學者施密特院士研究過這些資料之後，創立了地球是由冷凝的固態質點形成的假說。

古时，繞太陽旋轉着大量的宇宙塵云，其組成成分有氣體、硅酸鹽、鐵及其他物質。由于長期進化的結果，由这种云中生成我們称之为行星的物体，同时行星又繞中心体而旋轉。

根据施密特的假說，地球从核心到地表應該全是固体。由于放射性物質分解的結果，地球的灼热开始得較晚，此时在地球内部的灼热可能达到了最大的程度。

B. Γ. 費森科夫院士对太陽系的成因这一問題，有着自己的独特見解。

根据現代天文学和高压物理学的結論，可以認為：行星体越大，則其成分与物理性質越接近于太陽。由此可見，組成行星的介質成分与組成太陽的物質絲毫沒有区别。

既然太陽的年齡与地球的年齡相近似，那么就有根据來推断太陽与圍繞着它的行星的形成大致是在同一時間內，并由其某种星云的同一种霧塵狀介質所組成的。

数十億年前，我們的太陽象其他星球一样，是由某些不穩定状态的霧塵狀介質中局部冷凝分离而出。最初的太陽是十足的塊狀物体，比現在的太陽大8—10倍，并繞自己的軸作快速的旋轉。这个原始的太陽不断地向分布在太陽赤道面上的霧塵狀介質的殘存部分拋出微粒流。由于在这种介質中密度分布的不均匀，發生了新的凝縮——行星。

地表構造的某些特点

当研究世界地圖之时，就可以看到在大陸海岸帶的輪廓上有着極其相似之处。例如，欧洲及非洲的西岸，南北美洲的东岸就是如此。对这种在輪廓上相類似的問題，我們不能

不加以注意。相同的例子在其他地方也可看到。

在海洋深淺的地理圖上我們可以看出，在大西洋中（在其中央部分）發現有某種類山脊的東西，它確切地說是很平緩的。其高度平均為 2 公里。這一山脊在大西洋底的形狀幾乎是完全與美洲的東海岸及歐洲與非洲的西海岸的輪廓相同。

這種在輪廓上相似的問題還是個疑謎。僅用在地球面貌形成時顯示了自己的作用和正在顯示着自己作用的外力來解釋這個問題是不行的。若認為，在上述海岸帶形成時有內部的，即地下的力參加則更為可靠一些。

其次，還必須指出在地質學中已存在的另一事實，即隨着時間的演變地表上的某些山系變成了凹地。在現存的一些山系和山脈中，可以找到過去的海洋沉積物。這說明在某一遠古的地質時代里，地表曾發生過極大的垂直變動。我們現在所看到的高山，昔日曾是大海；而某些現在是海洋之處，在過去的年代里則是山系群起之地。

地形的這些變化和變動是很有意義的現象，但是目前我們對這種現象研究得還很不夠，同時毫無疑問，這些現象是與在地球深處發生的作用密切相關的。

再有，在遠古的地質年代，由地球核心向地表噴出了大量的熔融物質，即花崗岩和玄武岩。我們知道，目前就是這種過去被噴出來的熔融物質滿布在廣大的領域之上。在地表上象這類的地區有印度、蘇聯的西伯利亞和大西洋的海底，佔據的面積有十萬平方公里之多。現在這種作用還在繼續地發生着，只不過相當微弱而已，火山的噴發就是具體的表現。

曾不止一次地提出過，用什麼來解釋地表上所發生的這種運動呢？

应当提醒的是：地球表面上的这种垂直运动，现在仍然存在于地表的任何地方。例如，巨大的垂直运动能延續一千年之久，并且用肉眼就可以观察到海階地的上升。如斯基的納維亞半島在一百年之內就升高一公尺。

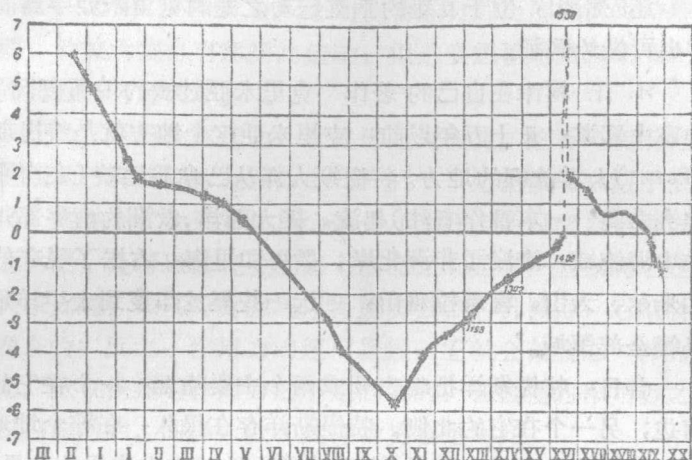


圖 1. 石柱地基在海平面上下的高度变化 (公尺)

从公元前二世紀起到公元二十世紀止

在意大利波簇奥里城附近尚存留有塞拉比斯古庙的几根石柱。波簇奥里城是在兩千年前兴建的，在这漫长的岁月里，就在建造古庙的地方，时而上升，时而又下降。现在，这些石柱又下降到海平面以下了。为了更好地研究这种现象，苏联学者曾乘船去该地。这是1945年的事，正是在罗马召开地球物理学会的时候。

意大利的学者们应用了兩千年来的历史资料，对这种有趣的現象进行过詳尽的研究。

根据研究的结果，把上升和下降的特点做成一条曲线，

如圖 1。顯然可見，上升和下降進行得相當平緩，而只是在某些年代里發生過急劇的運動。

波簇奧里小城位於維蘇威火山附近，因而可以推測到在火山區域的地下熔岩的運動即是上述運動的原因。

還應指出，位於複雜的垂直運動之處的克里米亞半島同樣也可做為例證。

Я. Д. 柯津在自己的著作“克里米亞過去的地質概況”一書中寫道：幾十萬年以前，克里米亞這個地方就是特提斯（Тетис）大洋流經的地方。特提斯大洋從巴拿馬地峽（在南北美洲之間——本書作者注）起流，經大西洋，歐洲的南半部，地中海流域，淹沒了非洲北岸、黑海和里海，佔據了現在的帕米爾、天山、喜馬拉雅山，更遠一些經過印度到太平洋半島等全部領域。”

昔日，特提斯洋把地表分成兩個主要陸地：一個在它的南邊；另一個在它的北側。特提斯洋存在很久，在整個地球歷史中占很大部分。但是，由於強烈的地球內力作用的結果，形成了新的大陸，在現代黑海所在的地區，出現了巨大的山系。然而，這一山系在近數十萬年來又下降到海平面以下，形成黑海，今天的克里米亞僅是上述巨大山系的殘余部分。現在，克里米亞的高山地區又在繼續上升，而海岸帶和淺海地區正處於下降時期。

Н. И. 尼古拉耶夫教授在歐洲蘇聯部分所作的類似的研究表明：實際上，在地球表面，最少是在蘇聯歐洲的領域之內，現在沒有一點不是處在垂直運動之中的。同時，這些點之中有的是在上升，有的是在下降。

要想證明水平運動的存在還是相當困難的，因為這需要極其複雜的和長期的天文觀察和大地測量。在斯堪的納維亞

与格陵蘭海岸間進行的經綫儀器測量的結果，發現了相当大的水平錯動，在一年內竟达到了32公尺。当然，現在也指出了上述的观测進行得不夠十分嚴格和精確，可能在測量中發生了錯誤。

1926 和 1933年 在52个观测台進行的徑度測量的結果証明：欧美大陸也有水平的运动，但是要想确定其互相間距离的远近还为时尚早。

为了解釋垂直运动，曾提出过均衡說。这种均衡說把这些运动解釋成固体在固体中“游动”——这初眼看来似乎很奇怪。实际上，如果对作用力的大小和作用的时间長短加以注意的話，是可以發現在固态与液态之間是有一些相同之处。大家知道，如果对封臘施以快速和強烈的机械力，它就会成固态的；反之，作用力的速度緩慢，它就会象液态一样的流动。冰在快速的作用力之下是固态的，在緩慢的作用力之下就是流动的。同样，鉄和其他物質也是如此。

地下層的坚硬地壳也是固态的。在重重的地壳長期作用下，地下層具有可塑性和流动性。我們的大陸就是游动在地下物質中的地塊。这种游动作用必然与因地球荷重的改变而引起的垂直上升和下降有关。例如，在过去的地質年代里，地表上冰川复体融化了的地方就消失了荷重。在近些年來，这些地方开始上浮，也就發生了緩慢的垂直运动。用这种浮起作用就可以解釋为什么斯堪的納維亞半島（在其上有厚达2—3公里的冰川沉積層）在不間断的上升。

但是，無論是垂直运动，或也可把水平运动包括在內，都不能只用作用于地表和使岩石破坏和搬运的外力因素加以說明。發生在地表的形形色色的运动的原因还远不僅限于外在的因素。

还有很多奇異的特点也是不能單純地应用外因來解釋的，如阿留申群島、千島群島、日本島、小笠原群島和馬里亞納等群島的山脊在構造上的規律性和一致性。更奇怪的是，在大洋中每一个脊壠旁都是很深的溝。在阿留申壠旁有不太寬的深凹溝，在千島旁有深達10公里的凹溝等等。群島的山脊和深盆地的这种适应情况并不是偶然的，应当用發生在地球內部的某种作用力來解釋它。这就需要补充一点，就是說在上述群島的頂部都有火山存在，其中有很多是活火山。

因此，地下物質（从火山中流出的呈熔岩狀的岩漿）的运动和地形的特点（深处的盆地）是和發生在地球內部的作用有关的。

研究地球內部構造的方法

用什么方法才能比較具体地解决地球內部構造的問題呢？

很遺憾，我們并不能直接在很深的地方進行洞察。現代的鑽井和豎井也只能达到5公里或稍多一点的深处，这一数字与龐大的地球半徑6,378公里相比較，真是小得可憐。因而，使用从鑽井中觀察到的結果，还不能說明很深的地方發生了什么情况。这就必須采用另外的方法，來幫助我們獲得所需要的資料。这样方法業已具备，就是研究因地震而引起的彈性振動，并靠地震站把它記錄下來，因而称之为地震法。

地震就是地球上的一种現象，它与造山作用，亦即能形成山脉与海洋的内力密切相关。为了証实这一点，把震中

(震中就是在地表上与震源相对的点)的位置与主要山系的位置加以詳細的比較，如圖 2。

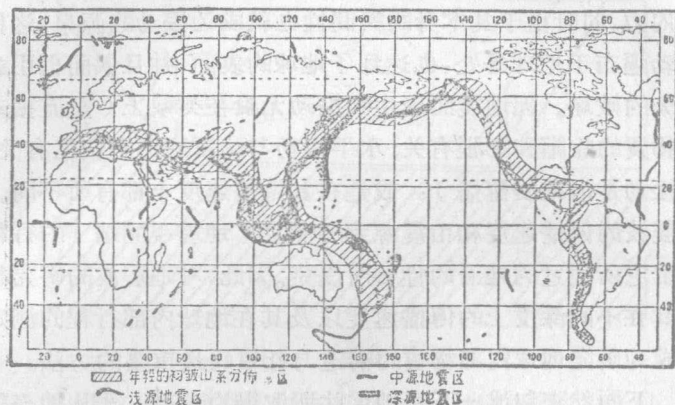


圖 2. 褶皺山系区与地震区的分布圖

震源存在于不同的深度，但其中多半都是存在于地壳範圍之內，也就是在50公里以內的地方。然而，也有些震源是在很深的地方，即数百公里的深处。經測定，最深的震源达 800 公里。

在研究地球內部構造這一問題之時，不能忽略另一明顯的事實，即大多數震中全是分布在太平洋的沿岸，而在太平洋的中心几乎完全沒有震中。

這一事實証明，形成大陸与太平洋流域的地球內力，現在还繼續作用在陸地与洋底的接触的地方。

据現代資料來看，地震的机械作用就是地球体因应力聚集和瞬間放电而產生的瞬間平移（錯动）作用。

假如地球內部的物質在緩慢而連續地流动着的話，則类

似的現象我們是很容易想象的。地下深处地震的存在使我們了解到：物質的这种位移也同样發生在数百公里的深处。

地球內部的瞬間平移作用，不僅表明了其中存在有強大的內力，同时由于其本身的瞬間性也就成为振动的源泉。这种振动遍布于地球各处，也达到了地球的表面，并且偶而也引起很大的破坏。因地震而發生的振动無論在类型上（垂直振动与物質的收縮和膨脹有关；水平振动与物質的形态变化有关；表振动是沿地表傳播），或是在其傳播速度上都有所不同。地震波的傳播速度和由震源到观测点（地震观测站）的行程是由它所通过的地層的性質所决定。因此，对地震波的研究和对其在不同深度上的傳播速度以及其在地球內部行程的測定就成为研究地球內部物質的構造与性質的最重要的方法。

下面就來叙述一下用地震法所取得的成就。先从地壳談起。

地壳就是地球的外部。地壳与在它下边的部分之不同点在于：其中的彈性有着很剧烈的变化及与此有关的地震波傳播速度也同样有急剧的变化。

假設，在地壳中地震波的速度为 v_1 。再假定，地壳的下部存在着完全是另一种物質，在其中地震波的速度为 v_2 ，并假定 v_2 大于 v_1 。在这种情形下，对振动的研究就使我們能夠确定地壳的厚度以及在其中和在地表層中彈性振动傳播的速度。

如果振源是在地球表面，同时由这里向各方面傳播出去的振动是呈射綫狀的話，則这种射綫必然有这样的方向：在这种方向上，射綫可在地下層中折射并以 v_2 的速度沿这一方向傳播。同时，在任何点上都可能重新返回到地表面。

例如，在 A_1 和 A_2 点上既可得到在地表傳播的震波，同时用复雜的方法也可得到在下部地下層的折射（圖3）。

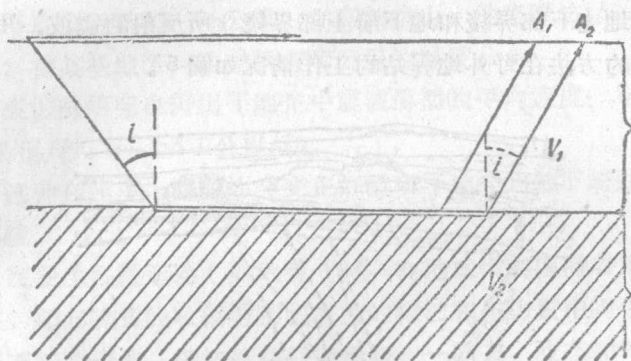


圖 3. 地震波的傳播

如果有許多地震站和取得了关于这些地震波的資料，就可以編制时距曲綫，也就是指示出地震波的旅行时间与距离相互間的曲綫关系。这种时距曲綫的繪制如圖4所示。可以說，第一条支綫 OA 就是地表中的震源。如果是这样的話，傳播速度就很容易用時間 t 去除距离 Δ 來确定。

当这一距离大于到折射点以前的距离时，在地下層中的震波就会超过地表的震波，因为 v_2 大于 v_1 的緣故。由此可以得出：根据时距曲綫的第二条支綫 AM 可以确定 v_2 。

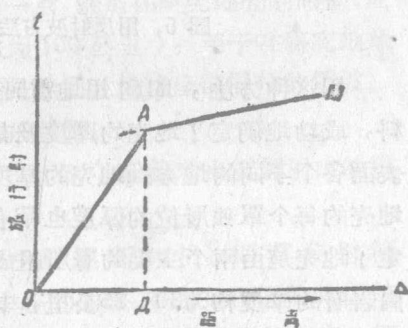


圖 4. 时距曲綫圖

近几年來，深处地震測深法有了很大的發

展，这种方法是使用非常灵敏的仪器和人工爆炸，因而不僅能够研究 折射震波，同时还可以研究 由地下層的分層面上（即地壳下部界綫和地下層上部界綫）所反射的震波。用反射波的方法在野外地震站的工作情况如圖 5。

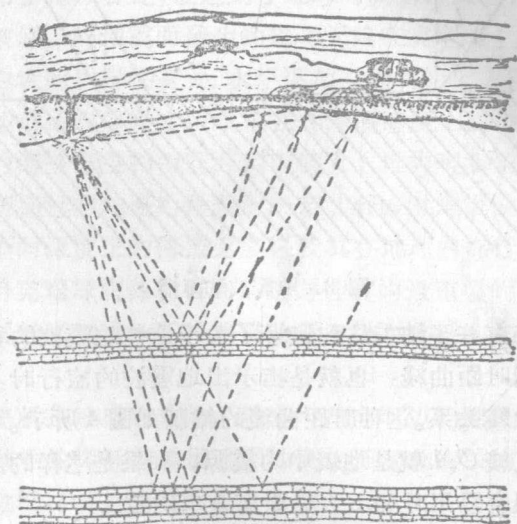


圖 5. 用反射波方法工作的略圖

用这种方法，即利用地震时或人工爆炸时所取得的資料，成功地确定了地壳的厚度及其構造。結果表明，在地球表面各个不同的地方，地壳的厚度也各自相異，同时組成該地壳的每个單獨層位的厚度也稍有不同。这种方法有效地确定了地壳是由兩個主要的層所組成：即花崗岩与玄武岩。花崗岩層的厚度約为30—35公里，其下为玄武岩層，厚約15公里。用这种方法也測出了全部地壳的平均厚度，即約为50公里。

地震法指明了在山系下面地壳的厚度大一些，而在平緩的地区之下則較小。例如，在欧洲平原和苏联的亞洲部分地壳的厚度恰好是30—36公里；在高加索山，地壳厚达56—60公里；在某些地区，地壳就有70公里的厚度。

类似的研究也得出了地壳中震波傳播的平均速度： v_1 为5.5公里/秒， v_2 为8.0公里/秒。

这种在速度上明顯的突变正好說明了地壳的地下層过渡的界綫。

当發生振盪运动（如地震）时，在地球体内傳播着两种震波，即与物質的收縮与膨脹有关的縱波和与物質中的平移断層有关的橫波。縱波可在任何形态——固态、液态和气态——的物質中傳播，而橫波却只能在固态物質中傳播。

这种情况就成为确定地球内部物質形态的补充的、也是非常重要的准則。在这方面，应当把地壳看做是固体的（其各層都是如此），在其中自由地傳播着縱的与橫的两种震波。

至于有关整个地球的構造，还需要采用地震測量法对此問題加以研究。这里僅指出一点，就是在研究地壳的时候，应当在不大的距离上進行（約为100公里），至于在研究地球之时，使我們最感兴趣的还是能通过地球全部層位的震波。

假定發生了地震，E点是震源。

也假定有很多地震站（A.B.B.）記錄着由震源射出的震波（圖6）。

由于震波的傳播速度向中心逐漸加快，則震波射綫（EA、EE等）成为凸向地球中心的曲綫。在远近不同的地震站研究由地震引起的振动时，發現了一个非常有趣的事实：經過地球内部的地震波自由地向地表上升僅能达到距震中 105°

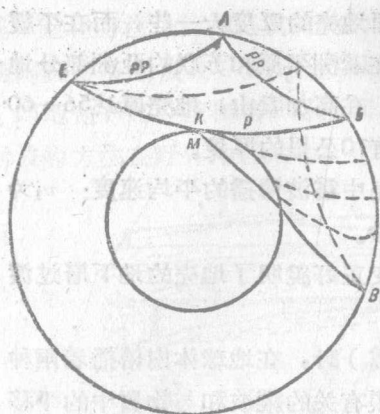


圖 6. 地球內部地震直射
綫，反射綫和折射綫略圖

中地震波的傳播速度也完全与地球內壳不同。

進一步的研究証明，如果觀測的結果能使我門確定地震波向地表折射的角度，那末就可以計算出它在深处的傳播速度。

地震研究的結果完全証實了地球內部是有核心存在的。并且也測明了在核心發現的彈性振动的速度。

依据上述地震研究所獲得的資料可总结如下：地壳中震波的平均速度为 5.5 公里/秒，在地壳下 50 公里的深处为 8 公里/秒，在 2,900 公里之处則为 13 公里/秒。再深一些，速度又重新为 8 公里/秒。

(11,600 公里) 之处，再远些在到震中距 143° (15,900 公里)，就測不到震波了，以后又重新升向地表。因此在震中距 105° 和 143° 之間就形成了一个似震影。

地震影的存在使学者們提出了一种新的概念，即認為在地球內部深 2,900 公里的核心处物質具有另一种彈性，同时其

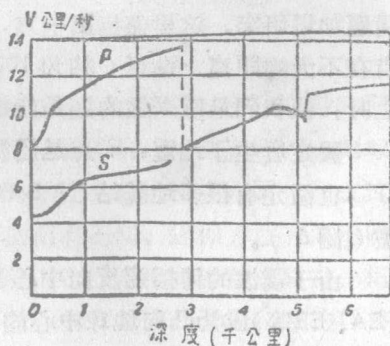


圖 7. 地球內部縱 (P)、橫 (S) 波速