

<http://www.geojournals.cn/georev/ch/index.aspx>

論地壳运动的本質

燕 东 魯

(石油工業部北京勘察設計院水文地質隊)

引 言

在大地构造学中常常疑难着人們的問題是这样一些問題：引起地壳运动的原因若何；地槽向陆台演化的實質是什么；造陆运动轉变为造山运动的物理条件与力学情况怎样；海洋和大陆生成的實質怎样……。所有这些以及諸如此类的問題，可以归根于一个問題，即地壳运动的本質若何？换言之，即这一运动的一般性規律以及这一运动所具有的更深刻的物理学上的及哲学上意义若何？

如所周知，只有我們認識了現象的本質、現象的規律之后，我們才能更深刻地理解現象，才能把它們的本質的和非本質的东西、必然的和偶然的东西区别开来。

然而，在我們所能讀得到的資料中，对上述諸問題大多都是作为疑案提出来的，而在不多的解答中，也是各不相同的，而且也都是不能使人信服的，因为它们都在不同的程度上具有着片面的性質和臆想的成份。因此，对这一問題寻求正确的解答，也就成为地質科学当前的任务了。

这一系列問題乃是相互关联的，只要我們能够正确地解答其中的一个，其余的也就不难找到正确的答案。在我們对上述諸問題作一比較后，我們發現，其中爭論最多并持以成为各种学派的就是引起地壳运动的原因問題。对这一問題爭論的多，这不是沒有原因的，因为它乃是这一系列問題中的關鍵問題。因此，下面我們將首先来考察这一个問題。

—

关于引起地壳运动或者說构造运动的原因，在最近一个世紀中，曾經产生过多种多样的假說。其所以如此，不仅是因为它是大地构造学中基本的、有着重要意义的問題，而且是因为引起地壳运动原因之多样性，以及对以下几方面的知識知道的極少的緣故，这些知識是：(1)地壳内部的物質状态及运动状况；(2)大洋地区的地質构造及其历史；(3)前寒武紀漫长的時間內的地質史。

在过去所提出来的許許多多的假說中，它們都有某些部份的事实依据及某些部分的主观臆測。因此，它們总在某些或某个方面符合于地質調查所觀察到的事实，而在另外某些或某个方面和地質調查所觀察到的事实相矛盾。當我們了解并进而考察这些假說的时候，我們將它們加以比較，从諸假說之間的矛盾以及各个假說与事实的矛盾中探寻出真理来。换言之，这将是我們認識引起地壳运动的原因的途徑之一。因此，在这里我們对过去提出来的、众人熟知的关于引起地壳运动的原因的假說作一概略的評述，将不会是多余的。

产生最早 (1852 年)、流傳最广的关于引起地壳运动的假說是收縮說, 这一假說是与当时的地質学、天体演化学以及其他的基本科学的發展水平相适应、相联系的。这一假說是以康德-拉普拉斯的天体演化的假說为根据的。依照这一假說: 地球由熾热的气体逐渐冷却变为具有固体地壳的地球。因为冷却而体积縮小, 同时就产生了側压力, 而在地球表面形成了褶曲山脉。

随着康德-拉普拉斯的假說被推翻, 这一地壳运动的假說也就站不住脚了。O. Ю. 施密特 (Шмидт) 院士証明了, 由于放射性分裂所产生的热, 由于分异作用及地心物質的压縮而产生的重力位能所轉換的热, 以及“由于地球有着很低的导热率, 集中起来的热仅有微小的一部份跑到外面, 而目前不管热的增加是如何的小, 它还是繼續使温度升高。只有在發展的很晚的阶段才应当达到平衡, 然后温度才慢慢开始降低。今天地球还远远沒有达到这个阶段”^[6]。O. Ю. 施密特还指出: “Л. С. 列比松 (Лейбензон) 院士用彈性理論的方法給这个問題以定量的分析, 并且得到結論說: 如果地壳收縮是普遍的存在的话, 它只能形成不大的几米高的皺紋, 不可能更大一些”^[6]。

但收縮說中有一点是可信的, 即地球半徑的縮短。依照現在的概念, 这种縮短不是由于冷却, 而是由于地球的不断压密所致。关于这一点可以由形成地壳的隕星物質的平均比重約 3.5 左右, 而地球的平均比重却是 5.53 得到証实, 也可以由观察到的地球自轉的速度数值增加得到証实。

繼收縮假說以后, 在最近 10 年来, 出現了各种形式的脉动假說 [W. II. 布列尔 (Bucher)、M. A. 烏索夫 (Усов) 等人], 这种假說在苏联 M. A. 烏索夫院士和 B. A. 奥勃魯契夫 (Обручев) 院士的工作中得到了發展。依照他們的意見: “在我們的地球上和所有的天体上一样, 經常發生着引力与斥力的斗争, 并且在固体的地壳形成之后, 引力就占了优势”。在地球收縮时期是一个积聚能量的渐变阶段, 在地槽区内拗陷加深, 同时新鮮的、被水浸潤而有可塑性的沉积層內造成了剧烈而复杂的褶皱; 同时, 在地台区造成較弱的褶皱。而在地壳伸張时期是一个地壳能量放出的突变阶段, 地壳發生波状的上升与下降, 事先在收縮时期挤成褶皱的新地層升出海面成为大陆上的山脊或是多山的島屿; 地壳被为数甚多的深大断裂所切穿, 从地壳深处有一定数量的岩浆渗入其中”^[3]。

这一假說很好地解釋了地壳运动断續不停的性質, 它常常由緩慢的运动为躍进所代替, 以及能量聚积时期被能量放出的时期所代替的特点。但是我們不能不指出, 这一假說在頗大程度上存在着主观臆測的成份, 它过于牵强地引用了恩格斯“自然辯証法”中的某些原理。奥勃魯契夫院士所說的褶皱和山岳形成的概念是和現代地質調查所提供的事实相矛盾的。褶皱和逆掩断層的生成不是在地槽下降的阶段, 而是在上升的阶段造成的, 而張力裂隙在下降阶段也能形成^[21]。其次, 如 Ю. A. 柯西金 (Косыгин) 所指出的: 这一假說的主要缺点还在于它承認构造因幕的普遍性, 而沒有考虑到地球發育的不均匀性^[21]。事实正是这样, 如果我們同意这一假說, 我們就必須承認地球上有着普遍的沉降时期和上升时期存在, 但是無數的事实所表明的則恰恰相反, 在地壳上表現的上升运动和下降运动不是同时进行的, 而且在不同的地区, 發生的時間是各不相同的^[23, 21, 7]。

A. 魏格納的大陆漂移說也很有名, 曾經得到許多人的欢迎。这个假說假定地球的矽鋁壳在元古代均匀地复盖着地球, 其厚約 30 公里, 在矽鋁壳上普遍地复盖着深約 2.6 公

里的海洋。在地球自轉的影响下，矽鋁層自东向西、自兩極向赤道作緩慢的滑动，同时假定矽鋁層在向西滑动时，美洲前进得快一些，欧亚大陆和非洲前进得慢一些，在兩塊大陸間就發生了裂隙，同时在大陸上還产生了褶曲作用。裂隙逐漸扩大后，露出了矽鎂層，以后就形成了現在的大洋底部。在矽鋁地壳發生褶曲后，由于均衡作用，便使低平的矽鋁層上升为山岳。大陸在基底上就像冰山一样的漂浮着，而且这种漂移运动一直繼續到現在^[4, 5, 21]。

这一假說不久以前受到了苏联地質学家們的批判，因为这一假說“是建筑在脱离地球内部發育而孤立地研究地壳的基础上的”，實質上只是一个空想的假說^[21]。这是由許多事实所証明了的。大西洋和印度洋下面的許多地方乃是下沉的陆地^[3, 21]，而不是如 A. 魏格納所想像的那样。Ю. А. 柯西金在援引 Н. С. 沙特斯基 (Шатский) 的論証时说：沙特斯基根据最新深源地震的材料，指出把地壳中的矽鋁層和矽鎂層割离开来研究的作法是不对的，其实整个地球是作为一个整体發展起来的，地球表層的性状取决于地球内部的状态。A. 魏格納假說中最弱的一环在于它脱离了現代地質学中最基本的原則和綜合材料，特別是忽視了地槽的理論^[21]。П. Н. 克魯泡特金 (Коропоткин) 也援引 Н. С. 沙特斯基的論証說：沙特斯基曾对乔里 (Joly)、魏格納、史韜勃 (Staub)、霍尔姆斯 (Holmes)、格里格 (Griggs) 等人發展的大陸漂移說加以正确的批判。这种假說从造山作用的热力学及力的規模来看是得不到支持的^[11]。

魏格納在他的假說中曾引用了地壳均衡的概念，这一点是应当加以考虑的，不應該在否定他的假說时候，把这一点也一同否定掉。关于地壳均衡这一假說自身，已在近代地球物理学的研究工作中得到了証明^[23]。

李四光教授許多年来从地質力学分析結合模型試驗来研究地壳运动，他得到的結論認為：“若地球自轉自始至終自轉速度不变，則其应有扁度早已达到；于是离心力和重力的合力便不能产生地壳变动所需的水平分力。若自轉速度作周期性的变化，除非地球内部完全無强度，則表面必定有变化，以适应离心力和重力的水平分力；換言之，若地壳外部較内部易于变动，則当自轉速度增加时，离心力之水平分力在地球兩極与赤道为零，而在緯度 45° 处最大。在此情形下，地面上的質量遂不得不向赤道移动而重新排列，以平衡增加的自轉速度”^[1]。“至于地球速度变更之主要原因，乃是地球逐漸冷縮的結果，当地球縮小，則其自轉速度变快，地球扁度增加。因海水無强度，故其变形先于地壳岩層，于是由兩極向赤道侵入。轉速再增，地球更扁，此时地壳內的应力愈积愈多，至其强度不能支持时，則發生造山运动，于是大陸从东向西，从兩極向赤道移动。复因均衡关系，由低升高，并有火成岩活动，当此变形后，地壳質量重新分配，应力消失，因之地球自轉速度变慢，地壳扁度变小，于是海水由赤道退出而向兩極侵入”^[1]。

地球自轉的速度数值的周期性和突然的改变，由許多天文觀察証明是存在的。关于这一点，我們能够从地球轉动慣量的变小求得解釋。但我們不能从冷却縮小这一概念求得解釋，而只能从地球因压縮变密以及因分异作用产生的物質質量向地心集中求得解釋。

毫無疑义，否認这一加速度所产生的力，否認这力对地壳物質的作用，这是不对的。尽管如此，許多学者 (П. Н. 克魯泡特金、М. А. 烏索夫、布刻尔、В. А. 奥勃魯契夫等人) 却只承認由地壳收縮所引起的一切应力，不是沒有原因的。这一假說的主要缺点，也像大陸漂

流說一樣，這裡就不再重復了。儘管由地球自轉速度數值變更所引起的慣性力及慣性離心力及其所產生的作用是存在的，但因為地殼運動中還有著其他的更主要的因素存在，也就只能退居到次要的地位了。

B. B. 別洛烏索夫對於引起地殼運動的原因在最近提出了新的看法。他把許多的地質、地球物理的材料與 O. Ю. 施密特的天體演化學說結合到一起來研究引起地殼運動的原因。他認為：“在分異作用過程中輕的及較重的顆粒分別結合起來，有如水流，其中較輕的顆粒浮起，重的顆粒則沉下。地球構造物質的分異作用似乎直接可以引起波狀升降運動。在輕的物質升起的地方，就在地殼上形成隆起的地形，在較重的物質流向地球內部（即向下沉降時），就產生了地殼的拗陷。……在酸性物質上升流動之附近，一定有與其相互抵補的基性物質向下流動”^[7]。他認為，褶皺作用是从震蕩運動派生出來的運動^[7,9]。

此外，他繼續從地球物質分異這一觀點來解釋地球上形成地槽和陸台的原因，他寫道：“可以這樣假想：這兩種不同深度的活動帶（地槽式的及陸台式的——作者）的分布是決定於分異作用的‘多期性’，因為在不同的深度內，由於物質的稠度的變化和重力的大小，而使分異作用有不同的速度，換言之，即上部的分異作用速度大，而下部分異作用速度小。如此一來，分異作用在不同深度之處有不同的情況，因而自然而然的在地球內部形成很多的‘層’。從這個觀點來看，地槽條件轉變為陸台條件是‘上層’（即地槽式的層）進行強烈的分異作用、而下層（即陸台式的層）進行長期緩慢分異作用的結果產生的”^[7]。他認為地槽中的震蕩運動反映著最快的上層分異作用，它們遲早會被較下層的运动所代替，這就促使地槽環境轉變為陸台環境^[7]。

B. B. 別洛烏索夫在他的假說中考慮了近代的天體演化學說，並尽可能地考慮了近代地質的及地球物理的資料，這無疑地是這個假說較優越的地方。但是應該指出，這個假說也還存在着缺點。關於在地槽中之褶皺成因，他認為不是由於水平壓力的關係，而是因為地殼的物質在地槽中由某一地帶搬運至另一地帶的結果。這種搬運“乃是由於受到那些發生於地殼上的應力作用之故（地殼起抵抗上升的垂直作用）”^[7]。我們還不能認為他對上述論斷提出的論據，即“褶皺形成的歷史在同一地槽中不同區域都是互不相同的，且褶皺開始總是先在地槽內部生成的，然後才漸漸擴展至邊緣部份”的這種論據是充分的。即是說，這種論斷還具有很大的片面性。地槽中強烈的褶皺和逆掩斷裂作用的規模，遠不是單從這個論斷能夠得到解釋的。因此，這裡反映出這一假說的缺點之一，是他過於牽強地把引起一切運動的應力統一到垂直運動之內，而否定了可能發生的水平壓力。關於別洛烏索夫的地殼運動假說中的其他缺點，下邊我們還要談到。

二

如果我們考慮到上述各種假說的正確部份，考慮到近代的天體演化學、地球物理學、新地質構造學、地震學以及蓬勃發展的大地構造學所提供的有關地殼運動的豐富的資料，並將其加以歸納和演繹，我們將有可能得到較之上述諸假說更正確的關於引起地殼運動的原因底解釋，同時也將有可能解答早為地質學家們提出的“什麼是地殼運動的本質？”這一問題。

(1) 根據 O. Ю. 施密特的天體演化學說，由冷的隕星物質形成的地球，在形成以後便

在热的作用下开始了重力分异。但“这个过程在很大程度上为放射性分裂所产生的局部变热所促进和加速了”^[6]。

О. Ю. 施密特在援引 Е. Н. 柳斯齐赫 (Люстих) 的資料时指出：“第一，Е. Н. 柳斯齐赫根据在粘滯性介質中的运动規律計算出的分异过程，实际上是进行得很慢的，就是說可能繼續到現在和完全可能用来解釋現代的現象。第二，Е. Н. 柳斯齐赫估計了在这个机构中分出的能量。他的結果是：分出的总能量大約是 1.5×10^{38} 尔格，在最近 20 亿年中平均每年分出 6×10^{27} 尔格的能量。这个数字和所有的放射性物質分出的能量相仿。这样，我們提出的机构所放出的能量实际上是巨大的，这个能量不能在大地球构造学中忽略掉”^[6]。这样，我們有理由認為，地壳运动所需的巨大的能量，是由重力分异及物質压密时重力位能所轉換成的能量以及由放射性元素分裂所供給的。

(2) 一切事实都表明，大地槽区域正是地壳上引起地壳运动的能量（以下簡称地壳运动能）高度集中的地区。从强烈而多样的褶皱、断裂、岩浆活动及地震可以証明这一点，由地热增温級在地槽区較其他地区高也可以証明这一点。

地槽区經過褶皱轉变为陆台这一过程正表明：地槽区經過褶皱、断裂、噴發、变質等形式，将能量放出的过程，即一部份能量使岩石变質，轉变为化学能，而另一部份能量經過褶皱、断裂、噴發等形式，将較深部位的能量傳遞到較淺部位和地壳表面，然后便經過大气層輻射到星际空間去了。

較年輕的陆台具有着某种程度的活动性，而越古老的陆台越宁靜，也正是說明了这一点。

(3) 我們將(1)及(2)中的論述加以比較，自然我們就会得出这样的結論来：某时代强烈的活动地带——地槽带，正是該时代重力分异速度最高的地带，而該时代的稳定地带——陆台区，則是在該时代以前已經經過最高分异速度的地带。

(4) 讓我們再来考察，在地史上表現比較明显的、分布比較广泛的、而且显然在地壳运动中起着主导作用的垂直运动。

a. 設地壳某一部份在热或其他的原因作用下發生單純的上升运动，相对的，另一些上升較慢或不升不降的地区，便表現出下拗的性質。如圖 1 所示。

b. 設地壳某些部份在收縮或其他的原因作用下發生下降，相对的下降慢或保持原狀的地区，便表現出上升的性質来。如圖 2 所示。

c. 設上升和下降运动是同时發生的，相互补偿的。如圖 3 所示。

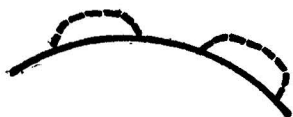


圖 1



圖 2



圖 3

讓我們来檢查这三种可能，看哪一种能够成立。如所周知，地史上在許多地区曾上升或拗陷到 10 至 15 公里，其上升速度达到每年 10 毫米（波罗地盾）^[17]以至 12—13 厘米（喜馬拉雅山及康藏高原）^[17]，拗陷速度也可以达到数毫米（高加索）^[21]。这样大的幅度和速度，远不是單純的上升或下降所能够达到的，不管它是由于收縮或膨脹或其他原因，都是

难以設想的。同时最主要的是和現在地質学和地理学中所查明的地形分布的規律相矛盾的，即高聳的山岭紧邻着低洼的盆地或平原，上升的地带并列着下降地带^[7]。由此可見，仅有最后一种假設可以成立。而这运动由圖 3 显然可見，这不能单纯的是地壳的垂直运动，它必然伴随着更深部位的地下物質的迁移，即由下降地区向上升地区的迁移。

关于物質因地面上山岳的生成而發生地壳內部迁移的这一推論的真实性，在 B. A. 馬格尼茨基(Магницкий)分析重力及地震的資料时^[23]，得到了証明。在 Ю. A. 柯西金援引 Н. Е. 柳斯齐赫的資料时也提出：柳斯齐赫基于分析俄罗斯、北美、印度、非洲陆台和地球上其他巨型构造的重力材料后，得出假定性的結論之一說：“某区域範圍內物質流出引起下降；从外面流入則引起上升”^[21]。

(5) 讓我們再来考察地槽發展的过程和状况。众所周知，地槽的發展分为两个阶段，在前一阶段是拗陷，与拗陷相伴随的是基性噴發。但总的說来，前一阶段是比較宁靜的。而在地槽發展的后一阶段——上升阶段，地槽区就表現了异常强烈的活动性，“后半阶段是地壳变动最活躍的时期”^[9]。伴随着剧烈而多样的地壳变形發生的是酸性岩浆的侵入。

B. B. 別洛烏索夫指出：“每一地壳变动阶段中，在地槽带深处的岩浆物質逐漸分异，并且这个分异作用是具有程序性的。在阶段的初期，玄武岩質熔岩流出来，以后代之而起的是中性和酸性的熔岩，在前半个阶段的末期，主要是后边的那几种熔岩。这种岩流成份的变化显然是玄武岩層大規模分异的結果。在玄武岩層表面堆积了更年輕因而成份也是更酸性的部份”^[10]。

在地槽地带“显然地从地球深处升上来的、为量最多的就是 SiO_2 和 Al，因此地球外壳的成份結果总是酸性增高了。而由此可知，地槽区域就是地球外壳中矽鋁成份有所增加的区域”^[23]。

地槽發展的前一阶段表明，其分异程度較低，蘊藏的地壳运动能量也較低；而后一阶段則表明，分异程度的增高和蘊藏的地壳运动能量的增高。

地槽發展的前一阶段，地槽中的物質具有較大的密度(因为是較基性的)，而在地槽發展的后一阶段，地槽中的物質具有較小的密度(因为是較酸性的)。

地槽的升降运动是和地槽中物質的重量直接相联系的。即是說，当地槽在分异較低阶段具有比重較大之物質时則下沉，当分异繼續进行而具比重較小之物質时則上升，即地壳力求保持其均衡状态。但地質內力和地質外力的作用經常在破坏着这种均衡，因此便經常引起这种垂直的运动。

綜上所述，讓我們先追溯地壳运动开始时的情形，然后进一步推論到地壳运动的一般过程。

按照 O. Ю. 施密特的学說，地球是由星际物質生成的，因此原始的地球外壳及中間壳的平均密度約近于隕石的平均密度，即約在 3.5 左右^[11, 22]。如果考虑到即使在原始状态下，在地热还不能使分异作用进行以前，由于压縮的关系，整个地球的平均密度要比 3.5 大得多。

O. Ю. 施密特認為重力分异作用是在地球上的任何深度內都在进行的，并且这个作用是由于放射性元素的不均匀分布所产生的局部变热，使这一过程促进和加速了^[9]。但重力

和地震的資料却証实：地球的內壳沒有發現过明显的不均匀性；使地面产生重力异常的异常密度之分布，是在几十至几百公里的深处^[23]。关于这一点，我們可能有下列两种解釋：(1) 由于重力值向地心而遞减；物質密度向地心而增大，即粘滯性增大。因此其分异速度比地球外壳或中間壳來說，是極其緩慢的，同时由于强大的压力，其变热程度可能是大致相同的。即是說，其分异速度可能是相同的。(2) 在地球內壳及核心物質在極强大的压力下把原子的外壳压碎，而使非金屬物質能出現了金屬相^[6, 23]。在这些層中进行的地球化学过程，未必能如 O. IO. 施密特所設想的那样，和外壳及中間壳相仿。因此，我們有理由認為和地面构造运动最有关的，就是地球外壳及靠近外壳部份的分异活动，一如地震資料所表明的那样。由此可知，在原始的基性的具有平均密度約 3.5 左右的地球外壳下某一深度內，在放射性元素分布較多的局部地区开始了重力分异活动，由分异产生的花崗岩漿（比重 2.67）和酸性火山玻璃（比重 2.3—2.4），比原始的基性物質要輕得多。据前所述，这种地区就首先成为地球上的活动上升地区。在前边我們曾引証 Л. C. 列比松的証明說：如果地壳收縮是普遍存在的話，它只能形成不大的几米高的皺紋，不可能更大一些。但在此情形下，上升地区破坏了这普遍收縮的靜力平衡。在此情形下，收縮作用将帮助上升地区加速上升，而使相邻的分异較迟的地区發生拗陷（如圖 4 所示）。

据馬格尼茨基的計算，一个低洼的拗地要补偿一塊高峻的陆地所产生的引力，它只要具有 0.3 的异常密度而且厚达 30 公里的一層就足够了^[23]。

当分异过程繼續进行中，便越来越多地聚积了能量。因此，分异过程是在加速进行的，因而上升运动也是在加速进行的。可以想見，在上升区和下沉区的两翼，将因剪应力而产生很多的断層，而在上升区的軸部，由于張应力而产生張力裂隙和陷落。但当到了这一过程的后阶段，如前所述，由于噴發、断裂等的作用，将地壳較深处儲藏的能量轉移到地壳上層和表面，接着便散失于星际空間。随着能量的减低，在深处进行的分异过程逐渐减低，以至極其微弱。这时候，这块地区便又呈現出宁靜的状态。同时，由于冷却及部份岩石的变質，該地区的地壳平均密度比上升初期将有所增大（約增加 0.1~0.2）。

分异較迟的地区当相邻地区不断上升时，發生不断的下沉。当下沉的初期，該区是原始的比重較大的基性地壳物質。当它不断下降的同时，不断为邻近高地搬运下来的疏松沉积物質所补偿（其比重約为 2.1~2.3）。当下降地区离开了地表弧不断靠近地心的时候，它的重力位能轉变成热能增加了，同时地心的热也由于下沉而更接近了下沉地区的物質。这时候，下沉的較稳定的地区，由于能量的增加，而使分异速度增高，与下沉的同时，其分异的程度也增高了。由于上升地区的能的散失，下降地区能的增加，便促使上升和下降趋于平衡。不过这种平衡很快就失掉。当下降地区分异速度不断的增高，分异程度不断的增高之后，地壳运动的过程便完全倒了过来：原来保持上升的地区变为下沉的地区，原来下沉的地区变为上升的地区。这样，好讓地壳轉移到一个新的平衡位置。

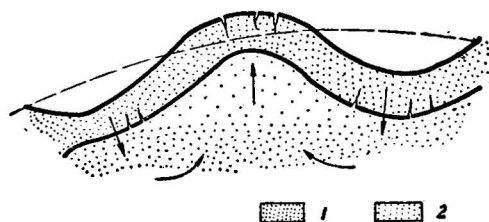


圖 4

- 1——分异程度極低，或未分异之地区基性或超基性地壳。
2——分异后的地区，酸性的地壳。

关于地壳上的活动地带——地槽带,首先是出现在原始的基性的地壳中的这一观念,我們可以用 B. A. 馬格尼茨基援引 H. B. 弗罗洛夫(Фролов)的材料来加以旁証。H. B. 弗罗洛夫对地壳上最古老的岩石——变质程度極深的太古代片麻岩成份之分析証明,“这些岩石不可能是靠一种花崗岩的分解而發生,而完全可能靠牺牲基性岩和超基性岩而發生的。这就不能不使人假設,原始的地球外壳是由基性和超基性的岩石組成的了”^[23]。这个化学分析表明的太古代变质岩的組成如下: SiO_2 54—57%, Al_2O_3 10—11%, $\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$ 12—13%, MgO 5—6%, CaO 8%, 鹼 4%。

我們現在进一步討論垂直的升降运动和褶皱运动的关系問題。如前所述,由于分异作用引起地壳上經常的垂直运动,并且这过程不是等速进行的,而是由較緩慢达到剧烈而后再轉向相对的平靜。当垂直的升降运动达到某一部位时,則必定伴有褶皱作用。这一过程由 B. A. 馬格尼茨基和 Ю. A. 柯西金通过几何的和力学的計算而得到証明^[21]。

如图 5 所示,隆起超过地平面的某一地区,当它拗陷达地表弦附近时,将因表面面积縮小而發生褶皱。据 B. A. 馬格尼茨基的計算得出其剩余面积

$$\Delta S = 4\pi r \Delta h \sin^2 \frac{\psi}{2},$$

式中 r ——拗陷前的地表半徑, ψ ——拗陷前与拗陷地段(A B 弧)之半相吻合的圓心角, φ ——拗陷后与拗陷地段之半相吻合的圓心角, Δh ——拗陷深度。

圖 6 表示在地平面的地区,拗陷到地表弦以下时其表面将張大一长度。

$$\Delta l_{\text{мин}} = 4 \int_0^H \frac{H dl}{\sqrt{4H^2 + l^2}},$$

式中 H ——拗陷深度, l ——拗陷地区(AaB 弧)之长度。

显見,当此拗陷地区轉为上升运动时, $\Delta l_{\text{мин}}$ 将为負号,即表示表面面积之縮小。

不管以上的計算是应用了如何简单化了的几何圖案,但它們仍有助于造陆运动轉化为造山运动的实質說明。即它說明了当地槽拗陷时出現的“渗透性”增高而引起岩漿噴發的現象,同时也說明褶皱运动是与拗陷上升同时發生的这一現象。

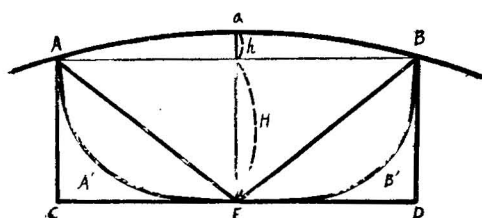


圖 6 (据 Ю. A. 柯西金)

弧 AaB 代表拗陷前的剖面, ACEDB 代表拗陷之极大值, AA' EB' B 代表拗陷之中間值, AEB 代表拗陷之極小值。

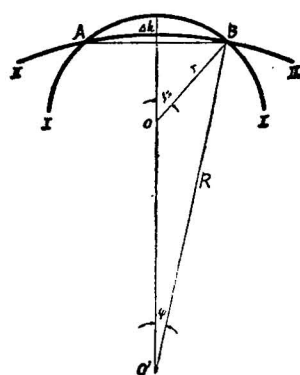


圖 5 (据 B. A. 馬格尼茨基)

I—I 拗陷前地表剖面, AB 是發拗陷地表的地段, II~II 半徑为 R , 中心在 O' 的球面代表拗陷后在拗陷地段上的表面。

如果考虑到前面所說的,分异作用具有加速进行的性質,因而上升运动也具加速的性質;同时考虑到拗陷上升愈接近地表弦时,其表面面积縮小得越多,則不难看出地槽中的褶皱运动确有一个时期表現得最为明显和剧烈。

应用前边所得到的結論,我們可进一步討論地槽向陆台轉变以及陆台的“还童”或“复活”的这一現象的实質。如前所述,地槽經過上升、褶皱、断裂和变质等作用,其中所积蓄的能量大

部散失了，分异活动因而也減低了。同时构成地槽的物質也起了一系列的变化：原来較疏松的、半固結的，具有很大柔性的沉积岩，經過挤压、胶結、重結晶……，变得紧密和坚硬；当下降末期，上升初期侵入的融熔活动性很大的岩浆，这时候由于冷却而結晶，它們像骨架一样成为活动地带的中坚。因而相对的說来，地槽（較年輕的褶皺带）也就失去了原先的活动性，而具有了陆台的性質。但是，在粘滯性很大的介質中所进行的分异过程并不能一次完成，这是因为：（1）在地槽区上升之后，能量的損失，使分异过程大大地減低或停滯下来；（2）在地壳下的物質，越往下粘滯性越大，而重力值越往地球的深处越小，因此在較深層中所进行的分异活动，比在較淺層中要慢得多。即使在較淺層中已經完成了这一过程，而在較深層中也还未完成。因此，如前所述，在地壳上升之后，与之相更替的便是下降，而下降使其能量增高，因而便使其分异活动逐渐活躍起来，直至其足以發动一次“造山运动”为止。以此类推，这一运动一直反复进行，但一次比一次減低，直至極其微弱。这是因为：地壳物質分异的程度一次比一次增高，能量一次比一次減低，地壳物質的剛性一次比一次加强。

由此可見，在地壳上，活动地带（地槽或复活的陆台）与稳定地带（古老的或較年輕的陆台）之間的斗争，就构成了地壳运动的整个內容。这一斗争在某一地区进行的结果，是使該地区的分异程度提高了，即使該处的地壳更趋于成熟了。

由此可見，地壳运动也像自然界中的其他一切运动一样，遵循着能量不灭定律。地壳上首先在地壳运动能較高的地区發生了活动地带，而且首先在那里成熟起来。实际資料也正是这样指出的，在地球上陆台成熟的时间是不一致的，“在南大陆（南美、非洲、澳大利亚）陆台的成长要比北大陆快。在加里东的初期，在南部已經形成了很大的陆台，而当时在北部，这个过程却拖延了很長時間”^[7]。

将上述关于陆台成熟不一致及其在空間上分布不均匀这一結論，联系前边的論述，并将它們加以推广，我們將不难得到这样的推論：在海水之下复盖着很薄的矽鋁層或矽鎂層直接出露于海底、被称为“大洋地台”的洋底地区，并不是什么特別的地区，从其較陆台地区具有更大的稳定性以及密度較大的基性物質来看，这些地区正是地球上地壳运动能量最低、分异程度最低的地区，即是地球上成熟最迟的那樣一些地区。关于这一推断的正确性、真实性，我們在 B. A. 馬格尼茨基的著述里获得了証明。B. A. 馬格尼茨基指出：大洋底部，它不能如一些人所假設的，已經經過了地槽阶段，因为在洋底沒有發現过一点應該保留得住的构造地形，保留得住的那种經過地質构造作用而使地壳酸性增高的那种沉积作用和岩浆作用；同样地，也不能同意另外一种假說，即海洋就是沉陷的陆台，如果是这样，就不能解釋：“陆台标准的矽鋁層成份是以怎样的方式轉变为現时作为海底特征的那些成份；在怎样的一些情况下一切海底才在不同的时代中沉沒到相等的深处……”^[23]。而最主要最有价值的是 B. A. 馬格尼茨基指出了現代的地槽之存在。現代的地槽“这些部份可屬於例如太平洋沿岸地带，在这里具有明显的在不久以前的沉沒达到很大的深处的証据……这些区域根据一切特征，其中也包括地震学的資料在內，并不屬於地球外海的海洋部份，而在好多的特征方面都显示出是大陆和海洋之間的过渡区域”^[23]。此外，他还指出了海洋暗堤和海底高原区域一些頗为引人注意的一些現象：“这样明显的、具有以千米測計的高度差的地形表明了这些地区中有强烈的升降运动，好像地槽型的运动。火山現象

和地震的存在使它們和地槽接近，在这里火成岩中中性的和标准酸性的岩石是十分發达的”^[23]。接着他还指出：一如地震学的資料所証明的，地球外壳在这些海底暗堤区域中，在形式方面接近陆台型的外壳，它們或者是不發达的地槽区域，或者是海底开始向地槽转变的一些部分。至于深海凹地，無疑地，它們是一些年輕的构造，能够把它們作为現代的地槽看待。沿着深海凹地，显示着强烈的地震及火山活动。“由此可能發表一个假說：深海凹地是把海底引向地槽發展阶段的第一步”^[23]。

有趣的并值得指出的是：这里所指出的大洋中海底暗堤的情形，正像前面我們从推論所得到的結果中指出的，在原始的矽鎂壳中地槽产生的情形；而大洋凹地的情形，正如前边所說的、地槽在已成长起来的陆台旁边产生的情形〔在該时代的年輕陆台（褶皱带）旁边产生的年輕拗陷〕。

这样，我們可以把前述結論补充如下：

在原始的地壳——矽鎂壳中，首先在地壳运动能較高的地带开始了重力分异活动，并且首先在那里产生了新的地球外壳——矽鋁壳。这一外壳的产生是經過地壳中活动地带的出現及其与稳定地带的斗争，換言之，是經過地壳中能量的聚积和散失的斗争来实现的。并且整个說来，第一个活动地带——地槽出現的这一阶段，是矽鎂壳向矽鋁壳演化过程中具有决定意义的躍进阶段。

据現在所知，地壳演化的过程，可以简单地表示如下：

稳定*的地壳(大洋地台**)——→活动的地壳(地槽及較年輕的褶皱带***)——→稳定的地壳(陆台***——古老的褶皱带)。

由此可見，这一过程乃是服从着唯物辯証法所确定的、为客觀事物發展所遵循的“否定的否定”这一原理。

由此可見，那些把海洋与大陆完全对立起来，認為海洋具有和大陆完全不同的發展过程(不是說發展历史)的看法乃是錯誤的。例如 B. Г. 帮达楚克(Бондарчук)就持有这样的看法，他認為：大陆高地与海洋洼地乃是原生的或宇宙的形态^[19]。同样地，我們也不能同意 B. B. 別洛烏索夫对海洋的生成所發表的論断，他認為：海洋就是沉陷的陆地，陆地在逐漸的沉陷过程中發生了花崗岩毀灭的过程^[7,8]。在这个論断中，特别是后一論断，乃是出于臆想(当然这一論断是由他前一个論断必然得到的推論，但这一推出的結果与事实不符，恰是証明前一論断的錯誤)。应当指出，B. B. 別洛烏索夫对这后一論断沒有提出任何充分的論据，無論是地質学的或是地球化学的。而他的前一論断的錯誤乃是由于思維的混乱，他把太平洋沿岸由地質調查所証明的中生代及新生代發生的巨大的拗陷以及强烈的地震与火山活动，不是看作稳定的沉寂的矽鎂壳轉向矽鋁壳的开端，而是看作海洋繼續扩大和加深的标志。他沒有認識到这种下沉乃是轉向上升的必要前提。另一方面，他又把暫時下沉的矽鋁壳和真正的大洋之底混为一談。他这一論断是和他对地壳运动所持的重力分异的观点自相矛盾的。

* “稳定”或“活动”这詞的意义是相对的。

** 容借用这一名詞，無恰当的名詞代替原始的或分异程度低的矽鎂壳。

*** 無恰当的名詞来分別表示，較年輕的、活动幅度較大的、有着“复活”現象的陆台——較年輕褶皱带，与宁靜的、古老的、結晶的陆台——前寒武紀褶皱带，这两个概念。

依据同一論点，我們也不能同意那些認為地壳發展的一般过程是由泛陆台的崩离〔C. C. 庫茨涅佐夫 (Кузнецов), B. M. 西尼村 (Синицын) 等人的假說^[21]〕或者是由泛地槽的縮小 (H. C. 沙特斯基, B. B. 別洛烏索夫等人的假說^[7, 9, 21]) 而构成的。这两种假說都不能說明地壳演化的实質，因为地槽和陆台都不是自古就有的，而是地壳演化到一定阶段上才出現的地壳运动形态。

結 語

如前所述，我們所得到的邏輯推論，能更加近似地符合于現代大地构造学研究的成果，并能給以正确的解釋。这一論述能够說明地槽向陆台演化以及陆台的“复活”現象之实質，能够說明現代大地构造学中关于造山运动和造山幕的概念，即造山运动是一种可以与沉积速度相比拟的运动形态，同时这一运动在进展是斷續性的，即漸变与躍进相更替的。它的出現，在空間上是局限的，在時間上是不等时的（不是在全球範圍內一齐到来）。

当然，要証明我所得到的这些結論的正确性，还应当放到大量的、生动的具体事实中去驗證它，而不只是使用抽象的推理和概括了的事实来証明它。我們所以这样作，只不过是認識的途徑之一罢了。同时，要仔細地分析浩繁的資料，这还需要時間，还有待来日的劳动。

最后，在本文結束的时候，我們还应当指出，虽然本文中的許多論述能够給地壳运动的实質以較深刻的揭露，但这不是說这种論述已經是十分完善和确定不移的了。不是的，不是这种意思。这是因为：（1）这个論述中所依据的天体演化学說本身，还是具有或然性的，因而自这种假說推导出来的結論，也还是具有或然性的。天体演化学及所有的地質科学部門的进展，也就不能不使对于地壳运动的本質之揭露更加深刻和完备。（2）有关約相当于星能放射周期（一亿年）的地壳演化阶段（周期或輪迴），沒有得到闡述。（3）在这个論述中还缺少許多必要的、能够給問題以定量解釋的計算，因而对于一些問題还不能作出回答，譬如地球自轉对地壳运动所起的作用之估价問題，地壳水平滑动及扭动的可能性及其在地壳运动中的作用問題，等等。但要作到这一点，必定要涉及更多的物理学的及地球物理学的、化学的及地球化学的、大地构造学的及天体演化学的資料以及繁复的演算。然而这远不是作者目前所具有的知識水平可以作到的。对于作者來說，只有繼續努力，爭取将来弥补这一缺陷。但作者却希望地質学家、地球化学家、地球物理学家們对“什么是地壳运动的本質”这一問題給予更多的注意，則对这一問題更深刻、更全面、更完备的解答，将为期不远了。

参 考 文 献

- [1] 李四光, 1951. 中国地質学. 正風出版社。
- [2] 李四光, 1955. 旋卷构造及其有关中国西北部大地构造体系复合問題. 科学出版社。
- [3] Обручев, B. A., 1948. 新地質构造的动力及造型的基特征. Изв. АН СССР, Серия геологическая № 5. (吳律譯, 1955, 地質譯丛, 創刊号。)
- [4] Яковлев, С. А., 1948. Общая геология. Госгеолиздат.
- [5] Половинкин, А. А., 1948. Общая физическая геология. Учпедгиз.
- [6] Шмидт, О. Ю., 1948. Четыре лекции о теории происхождения Земли. Изд. АН СССР.
- [7] Белоусов, В. В., 1955. 大地构造的基本問題. 地質学报, 第 3 期。

- [8] Белоусов, В. В., 1955. 大洋盆地的地質构造和發展, 地質学报第3期。
- [9] Белоусов, В. В., 1951. 地壳构造和地壳發展問題. Природа, №9. (严汉譯, 1955. 科学出版社: 地壳發展的規律性与区域大地构造。)
- [10] Белоусов, В. В., 1952. 大地构造的發展, Природа, № 2. (严汉譯, 1952, 科学出版社: 地壳發展的規律性及区域大地构造。)
- [11] Коропоткин, П. Н., 1950. О. Ю. 施密特的天体演化学及地球的构造. Изв. АН СССР. Серия географо-геофизическая. (張炳燾譯, 1955, 科学出版社: 地壳發展的規律性及区域大地构造。)
- [12] Павловский, Е. В., 1953. 地壳發展的若干一般性規律. Изв. АН СССР. Серия геологическая. (朱夏, 廖岩譯, 1955, 科学出版社: 地壳發展的規律及区域大地构造。)
- [13] Хаин, В. Е., 1952. 大地构造. Спутник полевого геолога-нефтяник, Гостоптехиздат.
- [14] Белоусов, В. В., 1952. Тектонический разрывы, их типы и механизм образования. АН СССР Труды географического института № 17 (144). (石汉譯, 1955, 科学出版社。)
- [15] Белоусов, В. В. 1949. 大地构造綱要圖, 苏联科学院报告 LXVIII 卷, 第1期, (方金譯, 1955, 科学出版社: 地壳發展的規律性与区域大地构造。)
- [16] Синицын, В. М., 1948. 中国陆台的构造及其發展. Изв. АН СССР. Серия геологическая. № 6. (馬万鈞譯, 1954, 地質学报第4期。)
- [17] Синицын, В. М., 1955. 亚洲最高地区的大地构造輪廓. Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел геологический 2 (2-3 月号)。 (朱志澄譯, 1956, 地質譯丛 № 4。)
- [18] Бокчковский, В. Ф., 1949. Землетрясения и методы их изучения. Изд. АН СССР.
- [19] Бондарчук, В. Г., 1949. Основы геоморфологии. Учпедгиз.
- [20] Страхов, Н. М., 1948. Основы исторической геологии. Госгеолиздат.
- [21] Косылин, Ю. А., 1952. Основы тектоники нефтеносных областей. Гостоптехиздат.
- [22] Саунов, А. А., 1951. Геохимия. Госгеолиздат.
- [23] Магницкий, В. А., 1953. Основы физики Земли. Госгеолиздат.