

苏联大百科全书选译

地 球 化 学
生物地球化学
地球化学过程
地球化学图解

地质出版社

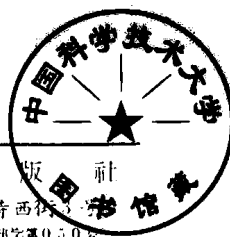
苏联大百科全书选译

地球化学

生物地球化学

地球化学过程

地球化学图解



出版者 地 质 出 版 社

北京宣武门外永光寺西街
北京市书刊出版业营业许可证书出字第050号

发 行 者 新 华 书 店

印 刷 者 地 质 印 刷 厂

北京广安门内教子胡同甲32号

印数(京)1-6,800册 1957年3月北京第1版

开本31"×43"1/32 1957年2月第1次印刷

字数30,000字 印张1 1/4

目 录

地球化学	1
生物地球化学	25
地球化学过程	33
地球化学图解	37

地球化学

地球化学是研究地球上的化学成分和化学元素的分布、分配、组合和迁移规律的科学。地球化学是在原子学说的基础上产生的。地球化学的根源是远在过去的地质矿物方面的知识。地球化学问题和米·华·罗蒙诺索夫、德·依·门捷列夫的工作有着密切的关系。“地球化学”一词是赫·弗·尚茨(Шенцов)于1838年引用到科学中来的。克·格·畢湖夫(1847年)、埃利·杰·鲍曼(1846年)和伊·布列依特伽布特等人取得了许多地球化学的资料。20世纪中,弗·克·克拉克(1908—1924年)作了实际资料丰富的第一次地球化学的综合报告,但是地球化学基本任务和原理的提出,以及使地球化学成为现代先进科学的还是弗·依·维尔纳茨基院士;在他著名的总结性的论文中,第一个给地球化学的定义为研究地球上原子史的科学。在最著名的地球化学家,弗·依·维尔纳茨基的学生——亚·耶·费尔斯曼院士,以及布·姆·戈德施密特的工作中,地球化学的思想获得更进一步的向前发展。戈德施密特他主要是发展了地球化学中的结晶化学方向。

宇宙中所有的天体——地球和其他行星、太阳和星体、隕石和其他等等——都是由101种化学元素及其同位素构成的。在木星气圈的表部、在围绕太阳旋转层、在地球外壳、在隕石内,化学元素的分布已比较确切地为人们所了解。星体上化学元素的相对分布度随星体在温度比率上的位置而不同,也就是取决于在其中所进行的热核反应的特性。

根据在星体中化学元素起源的中子学说制出的化学元素的
实验上求得的化学元素在天体中的分布曲线是很近

似的。由分布曲線（圖 1）明顯地看出門捷列夫周期表中原子序数較小的化学元素是占优势的。占绝对优势的是三个輕元

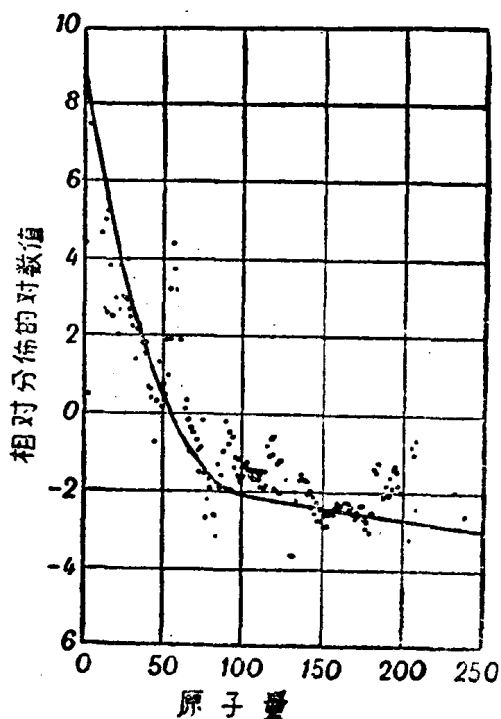


圖 1. 連續綫—理論曲綫；点—各个化学元素的位置

素 Li, Be和B, 这些元素的差度說明了其原子核的不穩定性（由于在低温条件下对陽电子有很大的俘獲橫截面）。化学元素的分布度随原子序数的增加而减小。Ac, Ra, Po, Pa 和其他放射性元素，由于本身的放射性分裂，可以是重元素中分布最少的元素。惰性气体分布極微。具有偶数原子序数的化学元素共計占元素总数的86.4%，奇数的則为13.6%。具有偶数質量数的偶数元素的原子核（在原子核的反应中）是最穩定的。化学

元素的分布大概是化学元素原子核穩定性的函数。

地球的成分，特别是地球外层的成分不同于天体的平均成分。

地球是一个冷体，体积有 1.083×10^{12} 立方公里，地球面积为 510.1×10^6 平方公里。地球平均的半径等于6371.2公里，地壳的年龄，根据放射性元素来鉴定，为 3.2×10^9 年（从凝固的时候算起）。

(整个)地球、石质陨石、铁质陨石的平均成分(%) 表 1

化学元素	地 球	石 质 陨 石	铁 质 陨 石	所有的陨石①
铁 Fe	36.9	15.5	90.85	22.30
氧 O	29.3	41.0	—	36.7
硅 Si	14.9	21.0	0.01	18.70
镁 Mg	6.7	14.3	0.03	12.9
铝 Al	3.0	1.56	—	1.70
钙 Ca	2.9	1.80	0.02	1.68
镍 Ni	2.9	1.10	8.5	1.08
钠 Na	0.9	0.80	—	0.67
硫 S	0.7	1.32	0.04	1.87
钛 Ti	0.50	0.12	—	0.09
钾 K	0.29	0.07	—	0.03
磷 P	0.15	0.10	0.17	0.10
锰 Mn	0.14	0.16	0.05	0.16
铬 Cr	0.13	0.40	0.01	0.36
钴 Co	0.18	0.08	0.60	0.08
碳 C	0.06	0.16	0.03	0.15
铜 Cu	0.01	0.01	0.02	0.01

①假定铁质陨石按其重量为所有石质陨石的重量的10%左右。

化学元素的最普通的地球化学分类法是根据元素的地球化学行为制定的；元素的这种行为，主要是与其离子，和其外层电子壳的结构有关的。根据离子结构的类型，可以把所有的化学元素分成若干大族，这些元素族可以确切地排列在其原子体积曲线上（圖 2）。

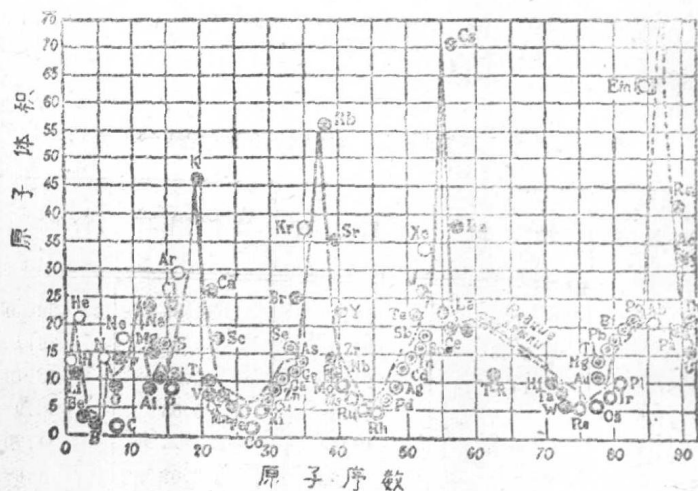


圖 2. 原子体積和地球化学元素族曲綫

- 占优势的大气圈（气体）的化学元素族
- 占优势的硅酸鹽岩石圈（岩石圈）的化学元素族
- ⊙—在硫化物中（和其同类的化合物—硒化物和碲化物）所發現的占优势的化学元素族
- 部分天然化学元素族

不僅在地球表面，而在沿垂直方向的地球各个同心壳內，多半都遇到类似的化学元素的共生体。

地球由同心壳（大約是球形），或是地壳構成。气体壳——大气圈乃是地球的外壳。再往里去就是液体壳（世界大

洋)——水圈, 及固体壳——岩石圈。地球上为植物和动物——有生命的物体所占据的地方, 这又划分出来地球上另一个外壳即生物圈。岩石圈朝向地球中心, 那里还有更结实的一层, 这一层深约2900公里, 即所谓中间过渡层(介层)。最后从深2900公里处起直到地球的中心, 名之为地球的中心核, 它的半径大约有3500公里(图3)。

大气圈向上扩展到数百公里, 同时其相对的成分, 显然, 在本质上是不改变的。例如 $N_2:O_2$ 的比例在很大的高度上仍然不变(到150公里)。

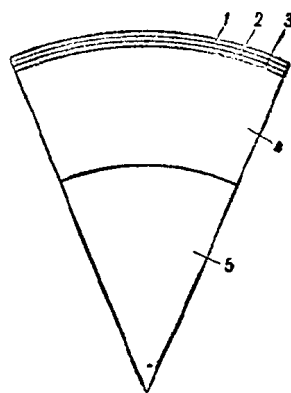


图 3.

- 1—生物圈(岩石圈, 水圈的上部和大气圈的下部)
- 2—花岗岩壳密度为2.8
- 3—玄武岩壳密度为3.2
- 4—中间层(介层)密度为5.7
- 5—中心核密度为11

大气圈内成分(缺水蒸气)

表 2

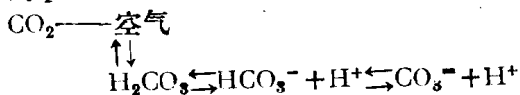
	重 量 %	体 积 %
氧 O_2	23.15	20.93
氮 N_2	75.51	78.10
氩 Ar	1.286	0.993
二氧化碳 CO_2	0.04	0.03
氖 Ne	1.2×10^{-3}	1.8×10^{-3}
氦 He	7×10^{-5}	5×10^{-3}
氪 Kr	3×10^{-4}	1×10^{-4}
氙 Xe	4×10^{-5}	9×10^{-6}
H	3×10^{-6}	5×10^{-7}

注解: 除这以外在大气圈中, 还有数量上很少的 H_2O , SO , H_2S , NO_3 , NO_2 , ..., Rn , Tn 和其他气体及化合物。

大气圈中O₂的含量，足夠綠色植物用光合作用來維護它的生存。在30公里的高度上發現大气中的O₃——所謂的臭氧遮光層——有所增加，它对地球的生活起着一定的作用，它能吸收一部分的太陽紫外綫。在大气圈内缺乏大量的He和H₂，這可用它們的原子輕，具有相当大的动能，不能保持在地球的重力場內，而要飛散，等等來說明。古代大气含有相當多的碳酸气(CO₂)。这种气体現在存在于石灰岩、大理石和其他礦物和岩石內，以石化状态出現。火山的酸性气体就是大气內的CO₂、SO₂、HCl、HBr、HF和其他混合物的主要來源。在許多大行星(木星、土星)上，在其大气中看到了固体和气体状态的CH₄和NH₃。

水圈——就是大洋、海和大陸上各个流域的总和，水圈占整个地球表面積的71%左右，含水 1.37×10^9 立方公里。地球上海洋的鹽份，一方面是由于大陸上各种岩石的風化及随后为河流將風化產物搬运的結果而構成。这样，海水中蓄積的主要陽离子为一Na⁺、Mg²⁺、K⁺、Ca²⁺和其他等。另一方面海水中主要的陰离子Cl⁻、SO₄²⁻、Br⁻、CO₃²⁻，以及F⁻、B和其他等，是由大气圈内火山生因的特性所產生。在不同区域的海洋中，海水的陽离子之間的比率：如Cl/CO₄；Cl/Br；Ca/Sr；K/Na^①等經常是不变的。

表3中头四种化学元素占海水中化学元素总重量的99.5%，其余的化学元素約占0.5%。海水与大气圈的气体处于平衡状态；大气可滲入海洋的最深处。由于碳酸鹽——碳酸氫鹽的緩衝作用，海水的pH保持在7.6—8.4：



①編者註：Cl/CO₄；Cl/Br；Ca/Sr；K/Na等根据A. A. 薩烏科夫著地球化学(中譯本)第105頁应改为CO₃/SO₄；Cl/Br；Ca/Mg；K/Na。

海水中化学元素的平均的成分重量百分比 (Cl=19.00%) 表 3

氧O	85.82	铝Al	$< 10^{-6}$
氢H	10.72	铅Pb	5.0×10^{-7}
氯Cl	1.90	锰Mn	4.0×10^{-7}
钠Na	1.05	硒Se	4.0×10^{-7}
镁Mg	1.7×10^{-1}	镍Ni	3.0×10^{-7}
硫S	8.8×10^{-2}	锡Sn	3.0×10^{-7}
钙Ca	4.0×10^{-2}	铯Cs	2.0×10^{-7}
钾K	3.8×10^{-3}	铀U	2.0×10^{-7}
溴Br	6.5×10^{-3}	钴Co	1.0×10^{-7}
碳C	2.0×10^{-3}	钼Mo	1.0×10^{-7}
锶Sr	1.0×10^{-3}	钛Ti	$< 1.0 \times 10^{-7}$
硼B	4.5×10^{-4}	锗Ge	$< 1.0 \times 10^{-7}$
氟F	1.0×10^{-4}	钒V	5.0×10^{-8}
硅Si	5.0×10^{-5}	镓Ga	5.0×10^{-8}
铷Rb	2.0×10^{-5}	钍Th	4.0×10^{-8}
锂Li	1.5×10^{-5}	铈Ce	3.0×10^{-8}
氮N	1.0×10^{-5}	钇Y	3.0×10^{-8}
碘I	5.0×10^{-6}	镧La	3.0×10^{-8}
磷P	5.0×10^{-6}	铋Bi	$< 2.0 \times 10^{-8}$
锌Zn	5.0×10^{-6}	钪Sc	4.0×10^{-9}
钡Ba	5.0×10^{-6}	汞Hg	3.0×10^{-9}
铁Fe	5.0×10^{-6}	银Ag	$n \times 10^{-9}$
铜Cu	2.0×10^{-6}	金Au	4.0×10^{-10}
砷As	1.5×10^{-6}	镭Ra	1.0×10^{-14}

註：锆 (Zr), 钨 (W), 镉 (Cd), 钐 (Sm), 钕 (Nd), 镨 (Pr), 新钍 (MsTh), 氡 (Rn) 及惰性气体等只定性地发现。

海水中碳酸鈣的不飽和及過飽和與這些緩衝作用有關，熱帶和亞熱帶的海洋過飽和帶內，在生物的直接參與下有大量的碳酸鈣（ CaCO_3 ）沉積出來。海水與海底沉積物和淤泥處於不平衡狀態。最後在海水溶液和許多生物之間有着非常複雜的平衡關係，這些平衡關係對化學元素在海水中分布——特別對光合作用帶的分布有很大的影響。許多生物聚積有分散於海水中的化學元素。例如海藻乃是工業上碘和鉀等的來源。海洋的鹽份在全部地球地質歷史過程中是增加着，但海洋中大量鹽的主要形成是在寒武紀以前的古代海洋中發生的。

生物圈——大氣圈、水圈及岩石圈內均有活的物質（живое вещество）存在（活的物質即居住在地球上的生物的總和）。生物圈內可以開採大量的礦石及有用礦藏。所有的生物直接或間接地都參與到無數的地球化學過程中。活的物質的地球化學功能是巨大的。生物積聚了大氣圈中的大量游離氧，堆積成為有用礦物的可燃的有機岩，如煤、石油和地瀝青等；很厚的石灰石、硅藻、硫、磷、鐵、錳礦床等等的形成，也均與生物的參與有關。生物參與了許多化學元素的富集和分散作用。大家都知道富集 I, Br, V, Fe, Mn 等等的生物。生物在地球化學過程中的間接參與作用是極為巨大的，因為這個作用生成了 O_2 , CO_2 , 有機酸及其他破壞岩石的化合物。岩石的風化作用及沉積岩的形成也是在生物， H_2O , CO_2 及 O_2 的參與下進行的。

岩石圈——由沉積岩（部分已經變質）和地球塊狀岩構成地球的固體外殼，通稱地殼。占全部地表 75% 的沉積岩是復蓋塊狀結晶岩石的外殼。沉積岩的平均厚度約 1.5 公里。在它的復蓋之下，有時也偶以地盾的形狀突出，並有酸性的富含 SiO_2 （26% Si）的花崗岩質外殼。花崗岩外殼是斷斷續續地，

而不是連續地蒙着整個地球的。在太平洋下面沒有花崗岩層。在花崗岩壳下布滿 SiO_2 (22%Si) 含量較低的和 MgO , FeO 含量較多的基性玄武岩壳。在玄武岩內或更深一些，就是熔融的熱液岩——岩漿，其溫度到 1500°C 。再深一點就是性質上和石榴岩或橄欖岩一樣的超基性岩石，但是關於這些延展到地球深處1200公里的岩層的概念，還只是一種假說。

各層岩石圈基本上是由氧化硅 (Si) 和氧化鋁 (Al)——硅酸鹽和鋁硅酸鹽 (礦物學上，系由長石——59.5%；普通角閃石和輝石——16.8%，云母占3.8%，及石英——12%所組成)。在這些岩層組成中，氧占第一位，按重量而言占47%強，按體積而言有90%強。在硅酸鹽中有4個氧原子以四面體的形狀分布在 Si 原子的周圍，也就象在許多鋁硅酸鹽中4個氧原子分布在中心原子 Al 周圍那樣。在地球上複雜的硅酸鹽及鋁硅酸鹽中的這些四面體形成了短鏈和環等等結構。他們在固體岩石圈內占統治地位，並作為許多其他類質同晶化合物雜質而存在。

岩石圈內的主要化學元素為 O_2 , Si, Al, Na, Fe, Ca, Mg, K，根據重量及原子量的組成都在99%以上。岩石圈中其餘的化學元素近於1%。這些化學元素大部分分散在岩石圈各層內，少一部分，在某種程度上造成礦體及各種礦床的富集。

在地球內1200公里和2900公里之間，還有不很了解的中間過渡層 (介層)。有些學者認為這一層是由逐漸向地球中心富集的鎳鐵硅酸鹽所構成。另外有些學者則認為在這一層內，有大量鐵的及其他金屬的硫化物。

地核，根據普通流行的概念，是由鎳鐵及其他鐵族金屬組成。通常認為石質隕石與岩石圈超基性岩石的成分相符合；混合質隕石成分 (鐵—石質的，如橄欖隕石) 則與地球過渡層

岩石圈的平均化学成分 (A. П. 維諾格拉多夫)

(厚度—16公里, 不包括海洋和大气圈)

表 4

化学元素	原子的百分比	重量的百分比	化学元素	原子的百分比	重量的百分比
氧 O	58.0	47.2	钒 V	6×10^{-3}	1.5×10^{-3}
氢 H	(3.0)	(0.15)	铷 Rb	7×10^{-3}	3.1×10^{-2}
硅 Si	20.0	27.6	锆 Zr	4×10^{-3}	2×10^{-2}
铝 Al	6.6	8.80	镍 Ni	3.2×10^{-3}	8×10^{-3}
钠 Na	2.4	2.64	铜 Cu	3.6×10^{-3}	1×10^{-2}
铁 Fe	2.0	5.10	锌 Zn	1.5×10^{-3}	5×10^{-3}
钙 Ca	2.0	3.6	钴 Co	1.5×10^{-3}	3×10^{-3}
镁 Mg	2.0	2.10	铍 Be	1.2×10^{-3}	6×10^{-3}
钾 K	1.4	2.6	锡 Sn	7×10^{-4}	4×10^{-3}
钛 Ti	2.5×10^{-1}	6×10^{-1}	钇 Y	6×10^{-4}	2.8×10^{-3}
碳 C	(1.5×10^{-1})	(1×10^{-1})	铈 Ce	6×10^{-4}	4.5×10^{-3}
磷 P	5×10^{-2}	8×10^{-2}	硼 B	6×10^{-4}	3×10^{-4}
氮 N	(2.5×10^{-2})	(1×10^{-2})	镓 Ga	4×10^{-4}	1.5×10^{-3}
锰 Mn	3.2×10^{-2}	9×10^{-2}	钕 Nd	3.5×10^{-4}	2.5×10^{-3}
硫 S	3.0×10^{-2}	5×10^{-2}	镧 La	2.5×10^{-4}	1.8×10^{-3}
氟 F	2.8×10^{-2}	2.7×10^{-2}	钪 Sc	3×10^{-4}	6×10^{-4}
氯 Cl	2.6×10^{-2}	4.5×10^{-2}	锗 Ge	2×10^{-4}	7×10^{-4}
锂 Li	1.9×10^{-2}	6.5×10^{-2}	铌 Nb	2×10^{-4}	1×10^{-4}
钡 Ba	5.7×10^{-2}	5×10^{-2}	铅 Pb	1.6×10^{-4}	1.6×10^{-3}
锶 Sr	1×10^{-2}	4×10^{-2}	砷 As	1.5×10^{-4}	5×10^{-4}
铬 Cr	8×10^{-3}	2×10^{-2}	钆 Gd	1×10^{-4}	1×10^{-3}

續表 4

銫 Cs	9.5×10^{-5}	7×10^{-4}	銻 Sb	(5×10^{-8})	(4×10^{-5})
鐳 Pr	9×10^{-5}	7×10^{-4}	碘 J	4×10^{-6}	(3×10^{-5})
釷 Sm	9×10^{-5}	7×10^{-4}	鉍 Bi	(1.7×10^{-8})	(2×10^{-5})
鉬 Mo	6×10^{-5}	3×10^{-4}	銀 Ag	(1.6×10^{-6})	1×10^{-5}
釷 Th	7×10^{-5}	8×10^{-4}	銦 In	(1.5×10^{-6})	(1×10^{-5})
鈳 Hf	5×10^{-5}	3.2×10^{-4}	汞 Hg	7×10^{-7}	7×10^{-6}
鐳 Dy	5×10^{-5}	4.5×10^{-4}	銱 Os	5×10^{-7}	5×10^{-6}
銲 Er	5×10^{-5}	4×10^{-4}	鈳 Pd	1.6×10^{-7}	1×10^{-5}
溴 Br	4×10^{-5}	1.6×10^{-4}	碲 Te	(1.3×10^{-7})	(1×10^{-6})
釷 Yb	3×10^{-5}	3×10^{-4}	鈳 Ru	(1×10^{-7})	(5×10^{-7})
鉭 Ta	1.8×10^{-5}	2×10^{-4}	鉑 Pt	5×10^{-8}	5×10^{-7}
鈾 U	2×10^{-5}	3×10^{-4}	金 Au	5×10^{-8}	5×10^{-7}
銩 Eu	1.8×10^{-5}	1.2×10^{-4}	銲 Rh	1.7×10^{-8}	1×10^{-7}
鈳 Ho	1.5×10^{-5}	1.3×10^{-4}	銻 Re	8.5×10^{-9}	1×10^{-7}
鎢 W	1×10^{-5}	1×10^{-4}	銱 Ir	8.5×10^{-9}	1×10^{-7}
硒 Se	1.5×10^{-5}	6×10^{-5}	釷 Pa	(8×10^{-12})	(1×10^{-10})
鐳 Lu	1×10^{-5}	1×10^{-4}	鐳 Ra	9×10^{-12}	1×10^{-10}
釷 Tb	1×10^{-5}	1.5×10^{-4}	銲 Ac	(5×10^{-15})	(6×10^{-10})
鈳 Tl	(3×10^{-5})	(3×10^{-4})	鈳 Po	(2×10^{-15})	(2×10^{-14})
鈳 Tu	8×10^{-5}	8×10^{-5}	鈳 Pu	7×10^{-17}	1×10^{-15}
鐳 Cd	(7.6×10^{-6})	(5×10^{-5})	氡 Rn	(5×10^{-17})	7×10^{-16}

氦 He
 氬 Ar
 氖 Ne
 氪 Kr
 氙 Xe

} 定量分析的測定結果不可靠。

(介層)相符合，而鐵質隕石的成分則與地球中心核的成分相符合(表7)。但是，雖然這個關於隕石及各種不同地殼近似性的思想是有成效的，但不能忘記，例如在隕石中發現了在地球上還沒找到的礦物。

所確定地球中心核性質的變化的推測，不是依據地球中心成分的改变，而是由於物質巨大收縮的結果。根據另一些觀點，認為在地球中心保存有宇宙物體，如在極高的溫度下的氫，但這可能是很小的。

地殼——有各種不同物理—化學平衡的區域，這些區域力求達到穩定的、逐漸為外力所破壞的熱力狀態。所以發生在地殼中的所有現象，是在相律、質量作用定律及其他某些依所發生現象的複雜性為轉移的，與之相接近的物理化學規律的熱力平衡學說基礎上加以研究，例如生物圈。壓力、溫度、相數、相的化學成分等就是在地殼內自然平衡狀態的基本參數。壓力決定於地球引力及岩石密度。正象許多統計上所表示，1公里岩石的平均壓力(不考慮岩石密度的變化)有275千克/厘米²；在地球中心的壓力等於 3.4×10^6 大氣壓。在岩石圈內，按深度情況來說，溫度每深100米，大約增高 $+3^{\circ}\text{C}$ (地溫級)。但是，在更大的深度內，顯然這個溫度過程有了變化，增加得更小一些。而地核的溫度為 $2000^{\circ}-5000^{\circ}\text{C}$ ，這一數值係由統計資料得來。在每一層地殼內以及各種不同強度地殼之間，不斷地進行着物質更替及化學元素的遷移。1910年B. И. 維爾納茨基首先指出了壓力、溫度及其他物理—化學條件的改變，而決定了類質同晶系列的化學元素的存在。那些條件就是：I——就生物圈(特別是風化殼)來說，是溫度和壓力都不高的區域；II——而岩石圈變質帶則是壓力大而溫度不高的範圍；III——對岩漿—地球的玄武岩殼及其他深處而言，是高溫及高壓下的處所。

1. Al, Fe, Cr, Mn, Ti, B, (Y), (Ce), V	2. Ba, Ca, Sr, Pb
$\underbrace{\underbrace{\quad\quad\quad}_I}_{II}$	$\underbrace{\underbrace{\quad\quad}_I}_{II}$
III	
3. Br, J, Cl, F, (OH)	4. V, P, As, Sb?
$\underbrace{\quad\quad\quad}_I$	$\underbrace{\quad\quad}_I$
III III	
5. B, Sb, As	6. NH ₄ , K, Na, Cs, Rb, Tl, Li, H
$\underbrace{\quad\quad}_I$	$\underbrace{\quad\quad\quad\quad\quad}_I$
III III	II III
7. W, Mo	9. Mg, Mn, Fe, Zn, Be, Cd, Cu, Ni, Co
$\underbrace{\quad\quad}_I$	$\underbrace{\quad\quad\quad\quad\quad}_I$
8. Ge, Sn	II III
$\underbrace{\quad\quad}_I$	
10. Au, Ag, Hg, Cu, Pb, Tl	11. Pt, Fe, Pd, Ir, Rh, Cu
$\underbrace{\quad\quad\quad\quad}_I?$	$\underbrace{\quad\quad\quad}_I$
II III	III
12. Os, Ru, Rh, Ir	13. Ca, Mg, Mn, Fe
$\underbrace{\quad\quad\quad}_I$	$\underbrace{\quad\quad\quad}_I$
III	II III
14. O, F, (OH)	15. Co, Fe, Ni
$\underbrace{\quad\quad}_I$	$\underbrace{\quad\quad}_I$
III?	II
16. Si, Ti, Zr, Mn, Th?	17. Nb, Ta
$\underbrace{\quad\quad\quad}_I$	$\underbrace{\quad\quad}_I$
II III	III
18. S, Se, Te	
$\underbrace{\quad\quad\quad}_I$	
II III	

地球化学过程 (геохимический процесс), 化学元素的迁移及化学元素按温度相 (температурная фаза) 分布的巨大和極其复雜的問題, 就是分离結晶作用, 分离結晶作用是岩漿中的物質在其分異过程中 (即在其逐步冷却和凝固的作用中) 分离出來的作用。在岩漿的硅酸鹽熔融体分異过程中, 在地球上

發生出兩大類岩石：一類是基性的岩石，即：輝長岩和玄武岩等；它們含有少量的 SiO_2 （52.5%）和多量的鹼 MgO ， FeO ， CaO ， SiO_2 ，一類是酸性岩石，即：含有多量的 SiO_2 的花崗岩（其中并具有游离的石英）以及 Fe_2O_3 ， Al_2O_3 等的花崗岩。

在岩漿的硅酸鹽熔融體分異過程時，有固體晶體——硅酸鹽岩漿的普通礦物相析出。同時，熔融體中各種類型的離子和原子乃按照某一定的順序和時間，根據其大小的不同而分布于固體礦物結晶格子和余留的母體熔融體之中。

在岩漿的早期結晶（高溫）階段，造岩的化學元素有： Mg ， Fe ， Cr ， Ti ， Si 等等。同時，有橄欖石、鉻鐵礦、鈦鐵礦和一些輝石等等礦石離出。在主要結晶階段，有斜長石、輝石、鐵礦等礦石分離出來。最後，在余留的岩漿晚期結晶階段形成的產物出現了長石、石英、黑雲母、白云母。許多所謂的稀有元素和分散化學元素（ Li ， Be ，稀土元素， Th ， Nb ， Ta ， U ， Mo 等等元素）的濃聚（圖4）與晚期（低溫）結晶作用的產物——特別是偉晶花崗岩有關。下面的分離結晶作用的示意圖，在某種程度上是簡化了很多。事實上分離結晶作用使岩漿與圍岩

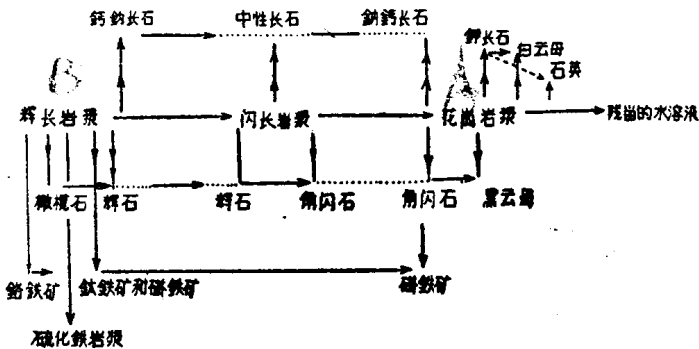


圖4. 在分離結晶作用中輝長岩熔融體的分枝作用