

# 苏联学者谈若干重要的沉积地球化学问题

奚瑾秋 编译

(地矿部情报研究所)

**大陆地块的沉积地球化学** 苏联科学院从 1930 年起,就已开始对它进行研究。A. Л. 阿尔汉格尔斯基、E. B. 罗日科娃、И. М. 斯特拉霍夫等曾对 P、V、Cu 在明显富含有机质的沉积岩层形成过程中的性状作了估计。最初,这一问题是以现代黑海沉积物为例进行研究的,此后,对受到十分强烈的成岩改造的古老湖青页岩进行了研究。

A. Л. 阿尔汉格尔斯基和 E. B. 科普切诺娃的著作对不同地球化学环境中形成的不同类型的铁矿石的化学成分作了描述。为此目的,作者测定了 200 个样品中的 P、As、Mn、V、Cr、Ni、Co、Cu 和 Ti 的含量,这些样品包括了黑海、白海和巴伦支海的铁锰结核,卡累利阿的湖相矿石,刻赤、图拉、利佩茨克、霍彼尔和哈利洛沃的褐铁矿石,普里奥克,阿塞拜疆和达吉斯坦的菱铁矿,以及库尔斯克磁异常区的含铁石英岩。

业已查明,富氧环境中形成的,由氧化物或硅酸盐组成的矿石最富含杂质元素,而且几乎所有上面所列举的元素的含量都较高。

缺氧环境中形成的矿石,其地球化学特征则迥然不同;这类矿石明显地贫 P 和 Cu,而诸如 V、As、Cr、Ni 和 Co 等这样一些元素则往往缺失。

A. Л. 阿尔汉格尔斯基及其同事所进行的研究具有重大的实际意义,因为根据这些研究的结果可以预测铁矿原料的工业价值;同时这些研究也促进了理论的发展。

根据铝土矿矿床、铁矿床和锰矿床在理想剖面上的位置,可以看出,这些矿床在空间上总是靠近古水盆地的岸边,而且铝土矿通常赋存于离大陆较近处,铁矿床位于离岸较远处(一部分过渡为海相),而锰矿床位于更远处,在剖面上水最深的部分。

于是便揭示了潮湿带三类矿床的空间分离现象,这种现象是由铝、铁和锰不同的正移能力造成的。

苏联学者的专著对苏联不同地区(乌拉尔地区、顿巴斯、库兹巴斯、卡拉干达盆地等)古生代地层中的 Fe、Mn、P、V、Cr、Cu、Ni、Co、Ba、Sr、Ga、Pb、Zn 和 C<sub>60</sub> 的性状作了描述。

И. М. 斯特拉霍夫等[1955、1959]阐明了古生代地层中各类沉积岩的岩性—岩相特点,并且用统计学方法估算了各种化学元素在其中的分布情况。

结果发现,在古老地层中,集水区化学风化作用的强度也直接影响到最终汇水盆地内化学元素的性状;化学物质分解越强烈,真溶液在元素迁移中所起的作用就越大,元素最大量的聚集也移向水深较大的地带,而剖面上不同化学元素的分布曲线就彼此更趋向一致。

剖面上化学元素的有序分布与陆地上岩石的最强分解相对应,而化学元素的无序分布则与陆地上岩石的微弱分解相对应。

B. H. 霍洛多夫认为,很明显,不是水盆地中简单的化学反应,而是集水区与海盆地相互间复杂的自然地理作用决定了沉积物形成过程中化学元素的性状。这一结论从根本上改变了沉积岩地球化学成为不依赖于岩浆岩和岩浆矿床地球化学而独立存在的一门科学,而且将这门科学与岩性—岩相研究紧密地结合了起来。

成岩作用理论的提出使得关于沉积物和沉积岩形成作用的地球化学特点的概念更加复杂化。

A. A. 阿尔汉格尔斯基和 B. C. 查尔曼尚以黑海的粘土沉积物和北高加索的第三纪粘土为例进行研究。他们在著作中强调指出了粘土矿物脱水作用,有机质分解作用以及沉积物固相和液相之间的阳离子交换作用的重大意义,并且详细地研究了淤泥水在成岩改造过程中的演变。

A. A. 阿尔汉格尔斯基等根据对格罗兹尼油田地下水的研究得出结论,地下水的化学成分反映了含油藏的第三纪粘土层的成岩改造作用。

H. A. 利西增娜多年从事的研究(1957、1965、1966、1968、1973)对于了解大陆上潮湿条件下沉积物质的运移具有重大意义。她的研究涉及哈萨克斯坦、乌克兰、越南北部、高加索巴统沿岸、太平洋岛屿和几内亚等地发育于基性和酸性岩浆岩上的现代和古老风化壳分布区。

H. A. 利西增娜在风化产物及其下伏基岩(主要是基性岩)中测定了主要化学元素(Na、K、Mg、Si、Al、Fe 和 Ti)和少量化学元素(Mn、P、Co、Ni、Zn、Cu、Pb、Cr、V、Zr 和 Ga)的含量。应用绝对数量法查明了风化壳中元素聚集和带出的数量规律;通过计算确定了热带残积层形成时化学元素的活性性序列。

结果发现,H. A. 利亚增娜研究的所有元素可按其在风化过程中活动性增强的顺序排列成一个统一的序列。该序列的一端是易活动的碱金属和碱土金属,而另一端是活动性弱的水解产物。针对基性岩风化壳所查明的这一序列与以前 A. H. 彼列尔曼和 C. P. 巴图林(1962)提出的河流中元素迁移的一般序列是吻合的,而且也与其他研究者在研究潮湿地带岩石形成过程中化学元素迁移的形式时所取得的资料相一致。

H. IO. 卢布钦科和 H. B. 别洛娃(1973)根据比较有代表性的材料对黑海盆地五条河流的河水中 15 种化学元素的迁移形式进行了研究,他们不仅阐明了元素迁移的悬浮形式和溶解形式,而且还区分出三种粒级的悬浮物并分析了它们的成分。

他们发现,Ti、Zr、Cr 和 V 明显地倾向于聚集在粗粒级悬浮物中,而 Mn、Fe、Ni、Cu、Mo、W、Pb 和 Zn 则倾向于聚集在较细的粒级中。溶解形式在大多数元素的迁移中起的作用不大;但 Mo 和一部分 Zn 为例外。

H. M. 斯特拉霍夫、H. B. 别洛娃等(1971)对一些化学元素在河水中的迁移形式进行了对比,并分析了这些元素在黑海表面沉积层中的分布。这些研究者编制和分析了 23 幅地球化学略图。在编制的这些图件中,现代水动力略图具有特别重要的意义,根据这种略图可以修正某些地球化学资料。

在苏联科学院地质研究所的地球化学工作中,特别重视沉积金属矿床成因问题的研究,从六十年代起该问题的研究是紧密结合对成矿物质来源的认识来进行的。

A. B. 裴韦(1947)、И. А. 施特列斯和 A. П. 扬申以及 K. K. 译列诺夫(1960, 1972)的著作中提出了铝土矿火山—沉积成因的假说,这种假说与得到 И. М. 斯特拉霍夫(1960)支持的 С. Ф. 马利亚夫金(1937)和 Г. И. 布申斯基(1958)的假说,即通用的红土—沉积假说是相对立的。

通过 Al 和 Ti 的地球化学特性的对比,可以明显地看出氧化铝在沉积过程中活化和迁移的条件。正如 Г. И. 布申斯基(1963)、B. H. 格里戈里耶夫(1963)、И. А. 利西增娜和 M. B. 帕斯图霍娃(1963)的文章所指出的那样,在大多数已知的铝土矿矿床中, Ti 和 Al 的比例是很有规律的,并且通常继承了发育风化壳的母岩浆岩中的比例。И. М. 斯特拉霍夫(1963)认为,这种情况确凿地证明,在铝土矿矿床形成过程中,氧化铝的机械堆积起着主导作用,这就排除了某些研究者所主张的铝土矿形成的火山—沉积机制。

Г. И. 布申斯基(1971, 1975)、Г. И. 布申斯基和 B. E. 扎克鲁特金(1978)的一系列较近期的著作,以具体的铝土矿矿床为例,探讨了 Ti 和微量元素地球化学的某些重要问题。

在 И. М. 斯特拉霍夫、Л. E. 施捷林别尔格、B. A. 卡利宁科和 E. C. 季霍米罗娃的专著(1968)中,以及在这些作者的一系列论文中,作了探索典型沉积矿床和火山沉积矿床地球化学差别的尝试。他们证明,火山—沉积锰矿床具有下列特征:(1) Mn/Fe 比值以及杂质元素的种类和含量极不稳定;(2) 矿石明显富含 Cu、Pb、Zn、Mo、W、B 和 Ge,而且时常与多金属矿体伴生;(3) Mn 经常与 SiO<sub>2</sub> 伴生。所有这些特征可以作为火山—沉积锰矿的地球化学标志。

Л. E. 施捷林别尔格(1971)、Л. E. 施捷林别尔格等人(1971, 1975),以及 И. М. 瓦林佐夫(1972, 1975)及其同事(普罗尼娜、瓦林佐夫, 1973; 普罗尼娜等, 1973)继续对各类锰矿床的成因和地球化学特点顺利地进行了研究。

B. И. 霍洛多夫(1963, 1966, 1972)、B. H. 霍洛多夫和 И. А. 米涅耶夫(1979),以及 Г. И. 布申斯基(1966, 1969)研究了磷块岩的地球化学特征。B. И. 霍洛多夫和 B. B. 布利斯科夫斯基(1976)在详细研究小卡拉套(哈萨克斯坦)含磷块岩地层的基础上,通过对各种磷块岩标本的分析证明,各种磷块岩矿床中经常富集铀、稀土、锶、钼和碘的现象是与远海硅质建造内层状磷块岩的喷发—沉积成因概念相抵触的;这种磷块岩如果是喷发沉积的,理应含 Ge、S、B、W、Sr,和其它指示元素较富。

И. И. 齐莫非耶夫及其同事(1969, 1970; 齐莫非耶夫等, 1975)对苏联不同地区含煤地层中硼的地球化学特征进行了研究。业已查明,在不同的相环境中,这种元素的空间分布是不同的。因此,硼是沉积作用相环境的灵敏的指示标志,在岩性—岩相填图和测量时可加以利用。

**大洋岩石形成作用地球化学问题** 在苏联科学院地质研究所只是从七十年代起才开始进行研究。有关这一问题的研究工作从一开始就明显地出现两个方向:一是研究现代大洋沉积物的地球化学特征;二是研究从现代到侏罗纪(包括侏罗纪)的大洋沉积物的沉积岩石学和地球化学特征,并对大陆和大洋的地质史进行对比。

苏联学者在太平洋北部研究的穿大洋剖面是研究现代大洋沉积物地球化学特征的现实基础。该穿大洋剖面起自桑加尔海峡,经威克岛、夏威夷群岛,直到加利福尼亚海湾,全长达 11575 公里。在剖面上布置了 48 个测站,测定 7—8 米厚的大洋沉积物。对于最近 10 万年的

沉积物进行了特别详细的研究。

根据穿大洋岩性-地球化学剖面,可以查明现代沉积物的岩性-岩相特点和客观地评价火山活动对正常大洋沉积作用所具有的实际意义。对剖面上火成碎屑物质、沸石和喷气作用产物的分布情况所作的具体研究表明,火山作用对现代沉积作用的影响总的来说是不大的(利西增娜等,1973,1976;布图佐娃等,1975)。

苏联学者通过研究,得出了一个极其重要的结论,这就是控制大洋中现代沉积作用的主要地球化学作用是悬浮物的机械分异作用。

实际上,用百分法和绝对数量法对穿大洋剖面上 22 种化学元素和 16 种稀土元素的性状所进行的研究表明,这些元素按其空间分布可分为三类。

属于第一类的是 Fe、Cr、Ge、V、Al、Ti、Zr、Ga、Ta、Nb、Pb、Zn、As、Cu、Mn、Co、Ni;这些铁锰类元素在剖面上的分布如下:每一种元素按其绝对数量依次朝着远洋带方向移动,而百分含量则从海岸到远洋带随着沉积物颗粒的变细而增高。只有承认控制这些元素在洋底分布的主要作用是异地和原地悬浮物的机械分散作用,这些特点才能得到解释。同时,异地悬浮物是从集水区进入海洋的,而原地悬浮物则是在水盆地本身中当溶解的组份转变为固相时产生的。生物作用和吸附作用只能使这种机械作用稍有改变(斯特拉霍夫等,1973;斯特拉霍夫,1976)。

第二类化学元素包括 C<sub>有机</sub>、SiO<sub>2</sub>、N、S<sub>硫酸盐</sub>、Se 等,它们在剖面上的分布与浮游生物生前的栖居区一致,同时也与成岩期硫酸盐还原作用的强度一致,而硫酸盐还原作用强度本身又取决于淤泥中保存的有机物质数量(斯特拉霍夫,1972)。

第三类元素是 TR 和 P,它们处于中间位置。

因此,对太平洋中穿大洋剖面进行的研究证明,大多数化学组份的分布主要受到水动力因素的制约。

以后,И. М. 斯特拉霍夫在其一系列著作(1976a, б, 1977, 1978a, б)中将这一结论发展为大洋岩石形成作用的水动力观点。

И. М. 斯特拉霍夫认为,在大陆地块范围内划分出的岩石成因类型,在大洋中是不存在的,而整个大洋属于出现少量浸染状火山-沉积物的统一的大洋沉积类型。实际上,地球的大陆地块对于大洋来说是一个统一的集水区,而大洋对于大陆地块来说则是一个最终汇水盆地。在大陆地块范围内产生的沉积物一部分沉积在大陆范围内以及陆缘海和边缘海中,而另一部分则被带入大洋中。

苏联学者在大陆地块上划分的岩石成因类型,严格地说是外生(干旱、潮湿、冰冻)因素或内生(火山-沉积)因素作用下沉积物质生成的类型。

大陆地块上的带状岩石成因类型是在气候直接影响地质体的情况下形成的。

在水份过剩的条件下(潮湿型岩石形成作用),物质的活动具有以下特点:一系列组份通过化学作用被强烈带出,形成风化壳;生物积极参与沉积物形成作用。在水份缺乏的情况下(干旱型岩石形成作用),风化作用具有较明显的机械风化的性质,风成作用的意义增大,而生物所起的作用减弱;在陆地上和最终汇水盆地中,化学盐化作用增强。最后,在温度较低和发育大陆冰盖的环境中(冰冻型岩石形成作用),广泛发育冰川风化作用和机械剥蚀作用,并形成冰碛层。

带间喷发-沉积作用为沉积作用带提供了大量深部物质——喷发岩本身、机械喷出的

火山弹、火山砾凝灰岩、火山灰、热液相喷气,这些物质呈各种复杂的组合与不同气候类型的沉积物相伴生。

沉积岩和沉积矿石反映了物质带入沉积区的不同方式(岩石成因标志),它们分布于陆地上(风化壳,铝土矿,“铁帽型”铁、锰矿床等)、沼泽和湖泊中(铁锰结核、煤、苏打和盐类矿床),或者分布在陆缘海和边缘海的滨岸带(重矿物砂矿、鲕状铁矿、铝土矿、滨海煤、石膏和盐类矿床等),最后,也可以分布在大洋的大陆边缘(重矿物砂矿、煤、石膏矿、盐类等)。可以很有把握地说,能直接指示沉积作用气候条件的绝大多数沉积物,不是集中在大陆上,便是集中在从大陆地块到大洋的过渡带中。

大洋中生物组份( $O_{有机}$ 、 $SiO_2$ ,一部分  $CaCO_3$ )绝对数量的积累在很大程度上受水动力状态的控制;在洋底深穴中生物组份缺乏,而最大量的生物组份集中在水动力活动带中,这是由于水的垂向混合作用以及 N, P 等营养物质带入光合作用区所致。И. М. 斯特拉霍夫(19766)在“现代大洋岩石形成作用的地球化学问题”这一专著中也指出,最大量的陆源碎屑物和铁锰类化学元素(Fe、Cr、Ge、V、Al、Ti、Zr、Ga、Ta、Nb、Pb、Zn、As、Cu、Mn、Co、Ni)通常集中在水动力活动带中,极少量的物质存在于洋底深穴中。同时,陆源铁、锰物质主要聚集在环大陆带中,其次聚集在纬向带中。

在大洋沉积物很有规律的分布中,水动力起了决定性作用;但这种有规律的分布由于受到环大陆分带性的影响而变得很复杂。

大洋中缺乏沉积物质造成了拗陷的非补偿性和沉积盖层的断续性;后者表现为在洋底上广泛地分布着缺失沉积层的区域。

浮游生物分布不均匀——明显地集中于滨岸带,而在洋底深穴中几乎不存在(“生物空白”),于是便使得滨岸带的大洋淤泥富含有机质;这里的沉积物发生强烈的还原作用和最充分的成岩作用。相反,在有机质含量极少的远洋淤泥中,广泛发育富含氢氧化铁和氢氧化锰的红色岩相。

按照 И. М. 斯特拉霍夫的观点[19766],非常充分的机械分异作用会使远洋带洋底富集金属组份并形成铁锰结核,而在发生强烈喷气活动的区域,则形成含矿沉积物发育区。

大洋中,气候分带性的作用较小,水分和温度的变化只表现为:在热带和亚热带,较大量地堆积镁质  $CaCO_3$ ,某些特殊的生物,例如造礁珊瑚,参与了沉积物的形成。总的说来,大洋中的沉积作用机制是一个统一的整体,在研究不同纬度的沉积物时能发现的唯一的差别,就是高纬度沉积物和低纬度沉积物在动物群的种成分上稍有不同。

苏联学者的上述关于大洋沉积作用的水动力观点是对科学理论的一大贡献;这种观点毋庸置疑的优点是,它把大洋沉积作用的特点与大陆地块范围内发生的作用紧密地联系起来。这一观点与总的全球性岩石成因理论十分接近,而研究全球性岩石成因理论是沉积岩石学和沉积矿床学当前的主要任务。

沉积地球化学作用在地球历史上的演变问题——这一问题一方面是在关于生命起源、生物圈、大气圈和水圈的总的地球化学观点的基础上,另一方面则是根据对时间上不可逆的沉积岩形成作用的具体研究而提出的。

有观点认为,原始大气圈含有  $NH_3$ 、 $CO_2$ 、 $CH_4$ 、 $H_2$  和  $H_2S$ ,游离氧几乎完全缺失,故原始大气圈具有明显的还原性。

大约 30 亿年前,地球上出现了生命,在大气圈高层紫外线作用下发生了氧和碳的光合

作用和部分的光离解作用,这些作用最初使大气圈的大多数组份发生氧化,使大气富集 $\text{CO}_2$ 、游离氮和 $\text{SO}_3$ ;正是在这一过渡时期大洋中出现并散布了硫酸盐。这些作用的进一步发展便形成了N、O、H含量超过 $\text{CO}_2$ 的现代大气圈。

根据H. M. 斯特拉霍夫(19626)的观点,水圈是沿着从酸性介质向碱性介质转化的方向演变的,而大气圈则是从明显的还原环境向着氧化环境演变。

苏联学者认为,沉积条件在沉积岩形成作用的性质在时间上发生变化方面起着重大作用,但是他们认为,必须承认,剥蚀区的地球化学类型对于沉积作用和沉积成矿作用的特点具有决定性影响。

通过大量实际资料的分析(霍洛多夫,1975)得以查明,现代的世界固体流构造主要是由于先前形成的沉积岩遭到破坏而形成的,沉积岩构成了陆地面积的72%左右,约8%的陆地面积为侵入岩,6%为火山岩,14%为变质岩层。

苏联学者指出,古水盆地集水区演变的一个特点是:补给区是以全球性和区域性现象向着局部性(地质情况复杂的)现象发展的。

从目前对前寒武纪地质的研究状况来看,还不能很确切地恢复地球可观察到的历史上补给区成分的演变情况。然而B. II. 霍洛多夫(1975)编制的示意图提供了有关这方面的大致概念。

通过对十分复杂和难以作出正确解释的前寒武纪地质事件的分析,可以大致划分出四个阶段;这些阶段占主导地位的、组成主要集水区的岩石,在成分上彼此有很大不同。

第一阶段相当于地球历史的最古老时期;它看来包括了老前寒武纪和早前寒武纪,并且与2600—4500百万年这段时间相对应。

地球上最古老岩石的成分很可能最接近于地幔的平均成分,其中玄武岩类岩石在数量上占优势。

在早前寒武纪,喷发作用表现强烈,辉绿岩或细碧岩类基性喷发岩广泛分布,同时出现最早的凝灰砂岩、含铁石英岩和其他沉积岩。到早前寒武纪末,除了基性岩层外,还出现最早的长石—云母片麻岩,这说明物质分异作用已经开始。

对于早—晚前寒武纪阶段的地球化学特征来说,指出以下一点很重要:在补给区正是基性喷出岩浆岩居统治地位,这表明这里主要分布初期结晶系列的元素:Mg、 $\text{SiO}_2$ 、O、Ti、Fe、Ni、C、Na、Al、P、S、Ca、V、Mn、Co、Cr、铂族元素。

早前寒武纪集水区的这些地球化学特点使同一时代的沉积作用具有一些独有的特点,产生了大量的富含“基性”系列元素的含矿沉积物。

第二阶段相当于19—26亿年这一时期,即包括中前寒武纪。在这一时期之初,即在30亿年和26亿年期间发生的全球性构造作用形成了地盾的硬核。由于所形成的山脉遭到剥蚀和早前寒武纪基性喷出岩发生风化,含铁沉积物广泛发育,为以后形成碧玉铁质岩奠定了基础。与此同时,发生了厚层杂砂岩、长石砂岩、含金和含铀砾岩、硅质沉积物和较少见的碳酸盐岩的强烈堆积作用。

第二阶段开始时发生的全球性构造—岩浆作用促使花岗岩化现象广泛发育,早前寒武纪基性喷出岩以及各种沉积岩都遭受了花岗岩化作用。产生了成分很特殊的、兼有花岗岩类岩石和被交代岩石特点的酸性岩浆岩。

酸性岩浆岩很快在地球上大多数补给区的组成中开始起主导作用。此时在集水区广泛

分布酸性岩浆元素:Na、Al、Si、K、Li、H、Be、B、F和稀有元素,这些元素取代了初期结晶的元素。

然而,不能认为,末期结晶的元素在地球表面已完全取代了基性岩和超基性岩元素,大家知道,在这一时期形成的酸性岩浆岩明显富含Fe、Ti、P、V和其他许多组份,这是与较年轻的花岗岩类岩石不同之处。同时,在中前寒武纪的酸性侵入体中出现了首批霞石正长岩系列的碱性岩和典型的奥长环斑花岗岩。

从构造观点来看,中前寒武纪时期是稳定的地台核部的形成时期。在罗得西亚构造—岩浆事件之后,形成了一些地块,它们在以后的历史中始终未发生强烈的拗陷作用和沉积物堆积作用,相反,它们不断隆起而成为剥蚀区。白海造山作用使遭受褶皱和变质作用的广大地区并入稳定的胚胎地台中。因此,在中前寒武纪末期,最后一次全球性构造作用完成了地球上稳定的地台区的形成过程。

第三个阶段相当于晚前寒武纪,它包括了 $1900 \pm 100$ 至 $570 \pm 50$ 百万年这段时间。

这一地质时期具有两个最显著的特点。第一,在由白海褶皱作用形成的地台的边缘部分,即在地台与相邻地槽的连接处,形成了与深断裂有关的辉长—斜长岩侵入岩带。第二,主要在古老地台的边缘,尤其是在与古老地台连接的里菲纪地槽中,继续形成各种沉积岩,其中除了陆源粘土岩外,碳酸盐岩和硅质岩分布也很广泛。

对于这一时期集水区的岩石特征来说,大型辉长—斜长岩侵入体的形成具有很大的意义。特征的是,辉长—斜长岩中Fe(1.5—6.0%)、Mg(0.5—9.0%)、Ti(0.13—0.69%)、P(0.06—0.65%)和其他初期结晶系列元素的含量始终偏高。

尽管晚前寒武纪时超基性岩形成作用伴随有花岗岩化作用,但是辉长岩类和斜长岩中所含的大量初期结晶系列的元素在进入侵蚀带后曾经在某一时期重新使集水区的地球化学特征接近早前寒武纪早期时的特征,这种情况是晚前寒武纪阶段的一个重要的特点。

在晚前寒武纪的沉积产物中,各种化学沉积岩和生物岩的数量大大增多。除了广泛分布的陆源粘土岩和碳酸盐岩外,在这一时期的剖面中还见到各种碳质—硅质岩、含石膏和盐的岩层以及层状磷块岩。在里菲界下部有时见到含铁石英岩,不过往上部层位含铁石英岩迅速消失,让位于鲕状铁矿石或层状锰矿石。最后,正是在这一时期分布了一些最早而可靠的高岭土风化壳残余。

由于沉积作用加强,一方面地槽得以继续发育,地槽在封闭后使地台区的面积扩大;而另一方面古老地台基底上沉积盖层的厚度不断增大,从而使古老结晶岩越来越深地埋藏在沉积物之下,而这些古老结晶岩过去曾经是沉积区物质的主要补给源。

集水区发育的第四(最终)阶段相当于显生宙,它包括从 $570 \pm 50$ 百万年到目前这一时期。在这一时期,补给区的成分中沉积物逐渐取代侵入岩、喷出岩和变质杂岩。与此相对应,在古水盆地的补给中,沉积岩的破坏产物开始起着越来越大的作用,而侵入岩、各种喷出岩和变质岩的原生物质起的作用则越来越小。沉积作用转入“自我服务”状态,为相邻陆缘海形成补给区的每次褶皱作用,带入沉积区的原生岩浆物质的数量一次比一次减少。沉积物质的多次再沉积作用在沉积旋回中开始起主导作用,而这势必会在沉积产物上留下烙印,诸如Fe、V、Ti、P、Mn和Ni这样一些初期结晶的成矿元素在陆缘海中很少形成大矿体,并且被无矿沉积物质所“稀释”。

随着显生宙地槽规模的缩小,地槽中形成的沉积物的岩石成分变得更复杂。此外,从加

里东地槽到海西地槽,然而再到基米里地槽,以出现基性岩浆作用为特征的早期阶段逐渐消失。因此,在岩浆作用普遍受到沉积作用压制的背景上,基性和超基性岩浆岩所占的面积逐渐缩小。同时,对晚前寒武纪来说十分典型的斜长岩侵入体已从超基性岩中消失。

在集水区发育的晚前寒武纪阶段,大陆剥蚀区中曾经广泛分布辉长—斜长岩岩体,在此之后,在里菲纪和早古生代沉积物中,开始出现黑色致密的含钒硅质页岩、层状磷块岩、白云岩、锰矿石和铁矿石。在温德—寒武纪时期,麦德维日耶戈尔、格林维尔和卡坦加期辉长—斜长岩带已最终形成并遭到强烈破坏,含钒的磷酸盐—硅质岩组合在亚洲、欧洲、美洲和澳洲的古海洋沉积物中已很常见〔霍洛多夫,1970a,1973b〕。

特征的是,从地球历史的这一时刻起,直到现在,钒成矿作用一直趋于减弱。正象霍洛多夫(1967,1973)在以前的著作中所指出的那样,在晚里菲纪和寒武纪广泛发育的  $V_2O_5$  含量非常高(达 1.5%)的黑色含钒硅质页岩到中生代已逐渐让位于鲕状含钒铁矿石,这种矿石无论就钒的储量或含量( $V_2O_5$  含量不高于 0.1%)来说都是较贫的。

看来,磷块岩和白云岩的分布也有类似情况。

如果考虑到构成铁矿石、钒矿石、磷块岩和白云岩的最重要元素的主要来源是辉长—斜长岩类型的基性岩浆岩,那么就可明白,为什么这些矿石和岩石的数量从寒武纪到第四纪会逐渐减少。随着大陆集水区中岩浆岩相对作用减小以及再沉积的沉积岩的意义相应增大,进入古盆地的 Fe、V、P、Mg 和其他初期结晶的元素的数量越来越少。十分可能,成矿元素的不足,当然还加上沉积条件的变化(大气中的  $CO_2$  状况、海水的碱金属含量、含盐度和生物的发育等),促使形成了结核状、交代型和鲕状矿石,而不形成典型的层状隐晶质矿石。

在结束对沉积岩地球化学发展过程所作的简短评述时,可知这门科学是在比较岩石学研究的基础上产生的,比较岩石学研究决定了这门科学的特点及其与普通(或经典)地球化学的基本区别。

#### 参 考 文 献 略