

论主要金属成矿的演化序列

沈永和

(山西省地质局)

一、前言

在地质工作不断发展,地表矿和浅部矿愈来愈少的情况下,为了有效地指导普查找矿工作,成矿规律的研究引起了广大矿床学者的重视。从不同角度,用不同观点,阐明世界的或区域的成矿规律,是当前矿床学发展的主要动向之一。例如,从原子本性和核本能的角^[1]度、从成矿系列的角度^[2]、从岩浆岩成矿专属性的角度^[3]等,以及从板块构造的观点、从地槽发展的观点^[11]、从花岗岩化的观点^[8]等所阐明的成矿规律,对于发展成矿理论,指导普查实践,都有现实意义。

成矿规律需着重说明成矿的两个方面的问题,一是成矿的时间分布,二是成矿的空间分布。在地壳的不断发展和演化中,成矿的时间分布和成矿的空间分布具有同步发展的总趋势。本文根据部分资料,讨论上述关系,以供参考,并祈指正。

二、成矿的时间分布

地壳是不断发展的,也具有明显的阶段性。这种阶段性具体地表现为大地构造的旋回性。与大地构造旋回有内在联系的成矿阶段称为成矿旋回。现按前寒武成矿旋回、加里东成矿旋回,华力西成矿旋回、燕山(基米里)成矿旋回及喜马拉雅(阿尔卑斯)成矿旋回,分别进行讨论。

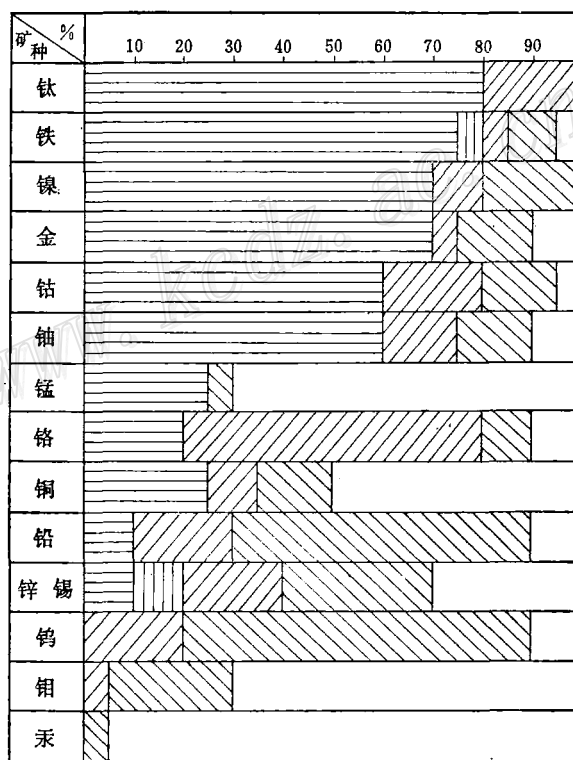


图 1 国外各成矿旋回主要金属量分布图①

① 关于这一方面的资料较多,各家提供的数字不一致,作者主要根据下页①和参考文献[5]等资料

根据上述主要构造成矿旋回研究成矿金属量的时间分布,开始较早。1936年,F·布隆德曾根据1929年的产量,按基底层中高度变质矿床、盖层中的弱变质矿床(新元古界前地台)以及新盖层(华力西—阿尔卑斯)中的矿床,并依据其产量的多少,得出如下序列^[4]:镍、钴、金、锰、铁、铬、铜、铂、锌、铅、锡。铬以前的金属,主要出现于前

寒武成矿旋回;铜以后的金属,则出现于加里东及其以后的成矿旋回。其分布量从老到新,按上述序列依次减少;反上述序列,则依次增多。这就初步指出了成矿的演化序列。

1979—1980年,作者根据有关资料^①^[5],绘制了国外各成矿旋回主要金属量分布图,也反映了相似的规律性。其情况如图1所示。

1980年,作者还根据中国已探明的主要金属储量,结合部分地区成矿地质条件的远景估计,按不同的成矿旋回,绘制了中国各成矿旋回主要金属量分布图(图2)。

图1和图2所反映的总的趋势与F·布隆德的资料是一致的。中国各成矿旋回所反映的主要差别在于钽的分布。国外钽主要分布于前寒武成矿旋回,而中国钽则主要分布于华力西成矿旋回。这与中国现阶段工作程度有关,也与局部地壳回返有关。

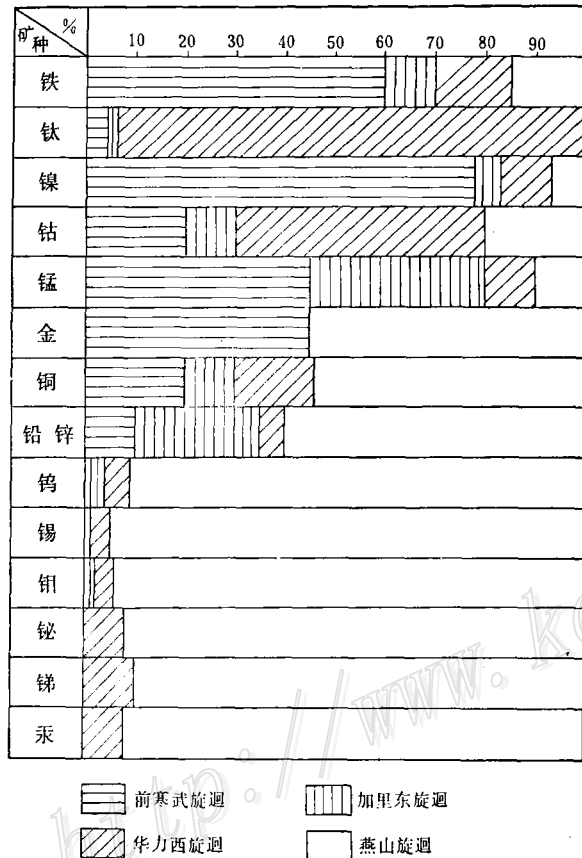


图2 中国各成矿旋回主要金属量分布图①

以上是根据不同的实际资料来讨论的。相似的结论,还可以从以下不同角度得到验证。1964年,侯德封^[7]根据原子本性和核本能论述了金属的成矿系列。按各主要成矿旋回,其主要金属的分布序列是:前寒武成矿旋回以铁、锰、钛、铬、镍、钴、铂为主;到加里东成矿旋回新增了铅、锌、铜;到华力西成矿旋回新增了钨、钼、锡、铋;到燕山—喜山成矿旋回新增了汞、锑。这些金属的分布情况与前述资料基本是一致的。P·拉兹尼卡^②曾用电子计算机计算了包括12种金属的5000个矿床的资料,发现其成矿顺序(按矿床出露的主要地质时代)是:铬—镍—金—铜—锌—铅—银—锡—钨—锑—钼—汞,其结果与前述成矿序列也基本一致。H·R·玛加克扬^[6]通过编制世界成矿规律图的总结,亦指出

① 据1980年地质部情报所编“地质科技动态”第17期资料。

② 根据地质部资料,由于部分矿床的成因和时代认识不一,故此图仅反映现阶段的总趋势。

③ 据1976年中国地质科学院矿产所编“矿产预测专辑”资料。

过类似的成矿规律性。他认为,各成矿旋回具有明显的特点:前寒武成矿旋回特别富集铁、镍、钴、金、铂、铀等;加里东成矿旋回主要富集铁、金、铜等;华力西成矿旋回主要富集铜、铅、锌、金等;基米里成矿旋回主要富集锡、钨、锑等;阿尔卑斯成矿旋回主要富集铜、汞、银等。这些元素的分布,虽有某些穿插,但总的分布顺序与前述情况也是一致的。

根据以上资料,不难看出,随着地壳的不断发展,世界各地主要金属量在时间上的分布是有规律可寻的。其总的情况是:亲铁元素以分布于前寒武成矿旋回为主;亲铜元素以分布于加里东至燕山(基米里)成矿旋回为主,而亲石元素则分布于燕山至喜山(阿尔卑斯)成矿旋回为主。这种随着地壳的不断发展,成矿旋回的不断更递,亲铁元素、亲铜元素和亲石元素在时间上所表现的量的分布顺序,是地壳演化的一种反映。因之,其成矿元素所反映的顺序,可称之为演化序列。

三、地壳的演化与成矿

现代概念认为,原始地壳是由地幔熔融产生的,世界前寒武地盾地区分布的绿岩带即代表了原始地壳,现代洋壳即是原始地壳的再现。在上述认识的基础上,作者将从以下三个方面,讨论地壳的演化以及它与成矿演化序列的关系。

第一,从地球不同圈层的主要化学成分来看地球的垂直演化。其主要变化情况如表1所示。根据表1可以看出,地球不同圈层的主要化学成分,自下地幔、上地幔到地壳,其主要酸性组分 SiO_2 、 Na_2O 、 K_2O 无论就单项还是总和都有明显的增加,而主要基性组分 Fe_2O_3 、 FeO 、 MgO 则无论就单项还是总和都有明显的下降,并且二者表现在下地幔与上地幔之间成分的变化较小,而上地幔与地壳之间的成分则变化突然,说明地壳较之地幔已有更深的演化。地幔岩石的类别,各家意见不一,但就化学成分来说,与地表超基性岩类是可比的。考虑到超基性岩类往往与深大断裂有关这一事实,因此,上述地球不同圈层的化学成分变化,可作为地壳垂直演化的一种重要佐证。

地球不同圈层主要化学成分演化表①

表 1

分 层	平均厚度 (公里)	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O
地 壳	17	62.19	1.07	31.36	16.57	7.46	4.67	7.28	6.20	4.10
上 地 幔	1397	42.86	0.42	9.44	27.14	12.21	35.00	3.08	2.45	0.55
下 地 幔	1486	40.71	0.05	1.70	28.00	12.60	43.33	0.98	1.54	0.07

① 根据文献[9]原为元素重量(克/吨)作者换算为氧化物的重量,以便对比。其中Fe用 Fe_2O_3 和 FeO 换算了两次。

第二,从大陆、次大陆和海洋地壳的主要化学成分来看地壳的横向演化。其主要变化情况如表2所示。从表2不难看出,从海洋地壳经次大陆到大陆地壳,其主要酸性组分和主要基性组分的变化情况,与表1所示情况基本一致。考虑到大陆地壳是由海洋地壳逐步发

① Na_2O 、 K_2O 为碱性组分,考虑到它们随着地壳酸度的增高而增加,故放入酸性组分中,下同。

展而来的这一事实,因此,上述化学成分的变化对于地壳的演化也是可以作为重要佐证的。

大陆、次大陆和海洋壳化学成分演化表

表 2

地壳	平均厚度 (公里)	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O
大陆	43.6	60.22	0.73	15.18	2.48	3.77	0.14	3.06	5.51	2.97	2.86
次大陆	23.7	59.45	0.74	15.08	2.53	3.85	0.16	3.17	5.91	2.89	2.79
海洋	7.3	48.65	1.40	16.52	2.29	6.23	0.18	6.79	12.28	2.57	0.37

(据A·B·鲁诺夫^①, 1971, 简化)

第三,从地壳不同发展阶段的主要化学成分的变化来看地壳在时间上的演化。其主要情况示如表3。从表3不难看出,在地壳不断发展中,随着大陆面积的不断扩大,厚度的不断增加,其化学成分的演化规律,与地幔向地壳、海洋壳向大陆壳的变化,完全一致。

地壳不同发展阶段化学成分演化表

表 3

阶段 (百万年)	大陆面积 (百万平方公里)	地壳厚度 (公里)	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O
↑ 2000	110	40	66.00	1.00	14.80	2.20	3.00	0.10	2.50	4.50	3.20	3.40
2000 ↑ 2700	26	40	62.80	1.40	14.80	2.40	4.00	0.10	3.30	5.00	3.10	3.00
2700 ↑ 3700	12	20	59.90	1.60	15.00	2.70	5.00	0.20	4.40	6.20	3.00	2.60
3700	0.4	10	50.50	2.50	15.20	3.40	7.50	0.20	7.00	9.70	2.80	1.40

(据A·И·图加里诺夫, 1976)

综合以上所述,可见地壳在不断发展中,其化学成分的主要演化方向是“酸性化”。这种演化的方向性,不仅在地壳演化的总体上表现明显,而且在某些地区或某些岩类上也有体现。例如,在地槽的不同发展阶段,其岩浆岩类有由基性到酸性演化的总趋势;宁芜地区的中生代火山岩也有由基性向酸性发展的总趋势;华南不同旋回的花岗岩类,从雪峰期经加里东期、华力西期,印支期至燕山期,其基性组分逐渐减少,而酸性组分逐步增多的变化规律,也完全与地壳成分演化大方向一致。根据地壳演化的规律,结合主要成矿金属量在成矿时间上的分布规律,可以看出成矿的演化序列与地壳演化的一致性,二者的发展具有同步的特点。其总的情况可以简括为:在地壳发展的早期,基性度高,成矿以亲铁元素为主;在地壳发展的过程中,基性组分减少,酸性组分增高,成矿以亲铜元素为主;在地壳发展的后期,酸性度高,成矿则以亲石元素为主。成矿的演化序列与地壳成分演化的这种同步性,在地球的不同圈层,不同岩类成矿的潜能以及同类岩类在不同构造旋回中微量元素的变化也都有明显的体现。

就地球不同的圈层含矿性来看,其主要成矿元素的分布情况,可示如图3。根据图3可以看出,地壳不同圈层主要成矿元素的分布,随着下地幔向地壳成分的演化(表1),亲

① 引自柏林“岩浆活动与变质作用”

成矿元素	Ti	Fe	Ni	Co	Au	U	Mn	Cu	Zn	Pb	W	Sn	Mo	Sb	Bi	Hg
地壳	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
上地幔	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
下地幔	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

图3 地壳、上地幔、下地幔主要成矿元素丰度示意图①

铁元素（钛除外）逐渐减少，而亲铜元素和亲石元素则依次增多。这说明了亲铁元素与地幔岩的基性度密切相关，而亲铜元素和亲石元素则与地壳的酸性度增高相关。

就不同岩类来看，其成矿的潜能可以简示如图4。从图4不难看出，就各岩类成矿的潜能而论，亲铁元素与基性—超基性岩密切相关；亲铜元素则与基性向中酸性岩类过渡有关；亲石元素则与酸性至超酸性岩类有关。这种总的相关趋势与当前成矿专属性的研究成果是一致的。

就不同构造发展阶段同一岩类的微量元素特征和消长的变化情况来看，也密切地与岩类成分演化有关。例如，华南不同时代的花岗岩类就体现了这种变化关系(图5)。根据图5可以看出：华南不同

岩石	元素	Cr	V	Fe	Ti	Ni	Co	Cu	Zn	Pb	Sb	Mo	Sn
花岗岩		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
花岗闪长岩		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
闪长岩		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
辉长岩		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
橄榄岩		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

图4 不同岩类主要成矿元素平均含量示意图②

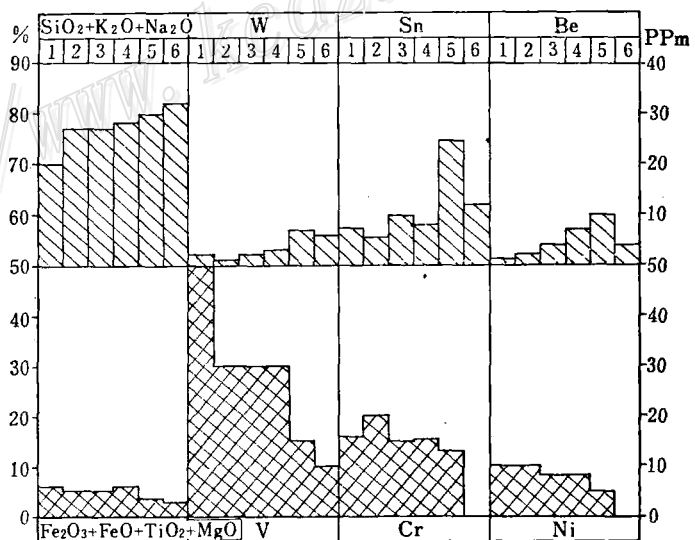


图5 华南不同构造旋回花岗岩成分和主要微量元素演化示意图③
 1—雪峰旋回 2—加里东旋回 3—晚加里东旋回 4—华力西-印支旋回
 5—早燕山旋回 6—晚燕山旋回

① 据文献[9]数据，作者绘图。

② 据H·D·B·皮尔逊和参考文献[11]。

③ 作者据文献[8、10]数据绘图。

旋回花岗岩化学成分和主要微量元素的演化的特征与整个地壳成分和主要成矿元素的演化序列是一致的。

综上所述,可见在地壳不断发展中,随着地壳不断增厚,基性成分不断减少,酸性组分不断增多,在这一总的规律控制下,主要金属成矿表现了同步的演化序列,如以量反映,可简示如图6。

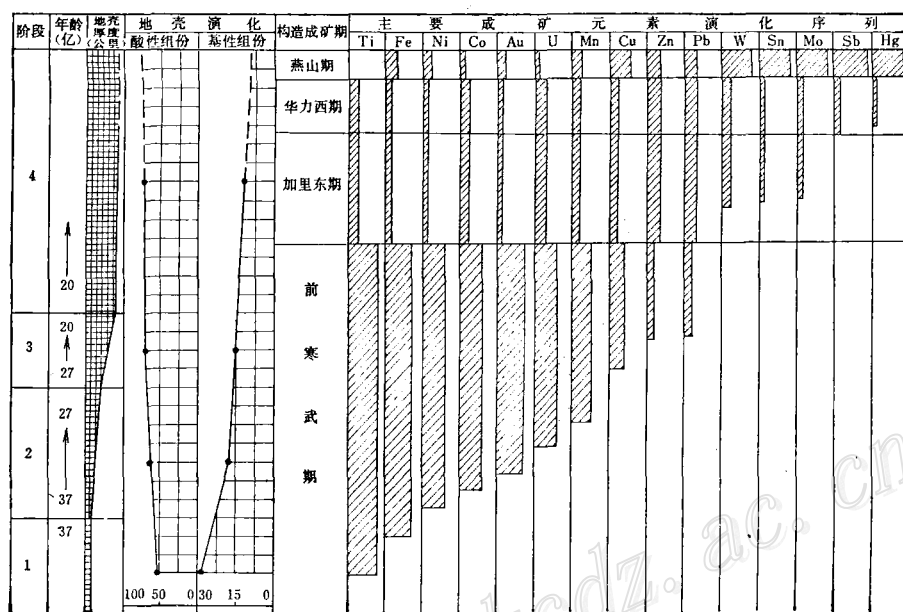


图6 地壳演化与主要成矿元素演化序列示意图

四、成矿的空间分布

成矿的空间分布,从地壳演化的观点来看,主要与成矿元素在时间上的分布量有密切关系。因此,其总的规律表现为时、空的同步性。

在陆核形成和不断发展中,前寒武成矿旋回发育于现今的地盾区,如南非、加拿大、印度、澳大利亚、西伯利亚等地,而其以后的各成矿旋回,随着陆壳的不断扩大,厚度的不断增加,成分的不断演化,其成矿的空间分布则沿陆核外缘依次向外扩展,其主要矿种亦按成矿的演化序列作有规律的更递。候德封^[7]曾根据成矿系列研究了世界金属成矿空间分布的规律性。中国也有类似的情况。例如,中国以华北地台为中轴,向南,随着加里东、华力西、燕山等构造成矿旋回不断发展,地壳不断向南扩大和增厚,因此,在华北以铁为主,向南则出现铁铜(长江中下游)、铅、锌向钨、锡(南岭)的过渡现象。向北,亦有类似的现象。如东北地区的一些含钼、钨、铅、锌等的接触交代式铁矿床与华南地区一些同旋回、同类型铁矿则极为类似,等等。

成矿的空间分布,就总体来说受地壳演化的各种相关因素控制,但它的发展是不平衡的。因此,除了前述成矿空间分布的一般规律外,尚有某些区域性的特点。例如,某些地槽区和某些深大断裂带都有其各自的特点。这些地区的特点主要表现为地壳的回返,从而

使一些老地槽产生某些后期成矿旋回的特点,如山西前寒武成矿旋回就出现了斑岩铜矿。由于地壳回返,也可使一些晚期地槽产生某些早期成矿旋回的特点,如内蒙华力西地槽出现的铬矿等。对于某些长期活动的深大断裂,可以有不同的成矿旋回存在,如吉林南部辉发河东西向的深大断裂^①,有与前寒武成矿旋回绿岩带有关的铁、镍;有与加里东和华力西成矿旋回基性—超基性岩有关的铁、镍;还有燕山成矿旋回的铁、铜、汞、锑等,造成了局部成矿的反常现象。

地壳的演化是有继承性的。成矿的继承性可使一些较早成矿旋回的特征元素重现于较晚的成矿旋回。例如,川、滇和华北地区前寒武成矿旋回的铁,以不同的成因类型,在后期成矿旋回中重现多次,导致部分地区成矿元素在时间上分布的延长。同样,早期成矿旋回由于后期成矿旋回的迭加,也会导至成矿元素在空间分布上的复杂化。所有这些,虽可产生部分地区成矿上的特殊性,但就岩浆活动有关的矿产来说,地壳演化的方向性则始终体现着对成矿的控制作用。例如,斑岩铜矿不论其成矿旋回的早或晚,岩性则均为斑岩类;与铬、镍、钴等有关的基性—超基性岩也如此。

综上所述,可见成矿空间分布总的规律是受地壳演化的各种因素控制,局部因素所造成的反常现象,不能归入地壳正常的演化之列。

五、结 论

1.地壳是在各种不同的构造运动中不断发展和演化的。这种发展和演化具有一定的方向性和不可逆性。这种方向性具体表现为在陆壳不断增大和厚度不断增加的情况下,其成分由超基性、基性逐渐向中性、酸性演化。

2.随着地壳的不断发展和演化,原始地壳中的主要成矿元素随着发生近似同步的演化,其演化序列表现为:亲铁元素→亲铜元素→亲石元素。

3.成矿的空间分布,前寒武成矿旋回以亲铁元素为主,加里东至燕山成矿旋回以亲铜元素为主,燕山至喜山成矿旋回以亲石元素为主。

4.成矿的空间分布,随着陆壳的不断发展和扩大,以陆核为中心,按不同的成矿旋回和演化序列,向外作有规律的更递。

5.地壳的演化系指从原始地壳形成以来的延续过程,局部深大断裂导至地幔岩浆入侵所造成的反常现象,不能归入地壳的演化之列。

6.应用成矿的演化序列研究大区域的成矿规律,进行成矿预测,对指导普查工作的战略部署,是会有一定帮助的。

参 考 文 献

- [1] 黄汲清 1962 从多旋回构造运动观点初步探讨地壳发展规律 地质学报 第42卷 第2期 105~153页
- [2] 程裕淇等 1979 初论矿床的成矿系列问题 中国地质科学院院报 第1卷 第1号 32~57页
- [3] 闻广等 1963 再论岩浆岩成矿专属性 地质学报 第43卷 第4期
- [4] H·施奈德洪 1953 成矿作用与大地构造 成矿规律专辑 30~35页
- [5] M·H·依万金申 1962 世界前寒武纪地盾区的成矿规律 同上 122~127页

① 据董南庭,1980,第二届全国矿床会议论文摘要。

- [6] H·R·玛加克扬 世界成矿规律图及地壳中金属矿床分布的若干规律 同上 1~11页
[7] 侯德封 1964 金属成矿论 地质科学 第四期
[8] 南京大学地质系 1966 《华南不同时代花岗岩类及其与成矿关系的研究》 中华人民共和国科学技术委员会
[9] 黎彤 1976 化学元素的地球丰度 地球化学 第3期
[10] 中国科学院贵阳地球化学研究所 1979 《华南花岗岩类的地球化学》 科学出版社
[11] A·И·维诺格拉多夫 1956 化学元素在地壳中分布的规律性 地球化学专辑 第2辑 地质出版社

A DISCUSSION ON THE GENESIS OF EVOLUTIONAL SERIES OF SOME MAIN METAL-GROUPS

Shen Yongho

(Geological Bureau of Shanxi Province)

Abstract

In the study of metallogenesis, many a different point of view has been proposed. The present paper deals only with the problem of the genesis of the evolutionary series of some main metal-groups. Based upon the preliminary studies and analysis of the data as shown in the tables and figures, some conclusions may be drawn as follows.

The earth's crust is continuously developed and evolved during various tectonic movement. This evolutionary process has its certain directivity and unreversibility. The directivity lies in the fact that the constituents of the crust have been gradually developed and evolved from basic-ultra-basic to acidic and ultraacidic (alkalic) as the crust continuously get larger and thicker.

The main minerogenetic elements has an approximately synchronous evolution with the crust. The evolutionary series may be briefly shown as siderophile elements—chalcophile elements—lithophile elements.

In point of temporal distribution of mineralizations, the siderophile elements are the main mineralizers that exist in the Precambrian metallogenic cycle; the chalcophile elements are the main mineralizers that exist in the Caledonian-Yenshanian metallogenic cycle; the lithophile elements are the mineralizers that exist in the Yenshanian-Himalayan metallogenic cycle.

As regards spatial distribution of mineralizations, it gives a radiant ordinal change from the kern outwards according to the old and new metallogenic cycles in the course of the development of the crust.

The evolution is a continuous process and only refers to what has happened since the original crust was formed. The abnormal phenomena as caused by the basic-ultrabasic intrusions from the mantle due to late crustal rejuvenations are out of the sphere of the evolutionary series.

The application of evolutionary series to the study of the regional metallogenic analysis and also to the promotion of the mineral prognostic work is of great theoretical as well as practical significance.