

文章编号: 0258-7106 (2001) 03-0216-07

地球化学模式及成因初探^{*}

王学求

(中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所, 廊坊 065000)

提 要 如何对已发现的地球化学异常进行解释与评价, 一直是困扰勘查地球化学家的难题。针对这一难题, 笔者提出了地球化学模式的 3 种分类方案: 规模分类、成因分类和成熟度分类。按照规模大小将地球化学模式分为: 局部异常、区域异常、地球化学省、地球化学巨省和地球化学域, 同时将规模达地球化学省以上, 并且内部具有套合结构特点的立体地球化学模式称作地球化学块体。地球化学模式依成因可分为原生地球化学模式和次生地球化学模式。成熟度分类是笔者首次提出, 地球化学模式的成熟度是指地球化学异常相对于矿的关系而言的。笔者将地球化学模式按成熟度的不同, 依次分为原始地球化学模式、中间地球化学模式和终极地球化学模式。提出成熟度分类是试图为科学利用所发现的地球化学模式进行异常解释与评价提供理论依据。

关键词 地球化学模式 规模分类 成因分类 成熟度分类

中图分类号: P59

文献标识码: A

地球化学模式是元素在地球表面(或地下)分布或分散的一种样式。今天地球化学方法对于发现各种地球化学模式是容易的, 但对于地球化学模式的解释和评价却是困难的。什么样的地球化学模式是矿引起的, 什么样的地球化学模式是非矿引起的? 什么样的地球化学模式是大矿引起的, 什么样的模式是小矿或矿化所引起的? 什么样的地球化学模式来自地表, 什么样的模式来自深部? 这些问题的研究对于解释中国已发现的成千上万个地球化学异常, 区分大矿与小矿, 寻找隐伏矿体都具有重要的理论意义和现实意义。本文试图对地球化学模式及其成因从不同角度进行初步探讨, 以便为上述问题的解决奠定理论框架。

1 地球化学模式的规模分类

多年来, 勘查地球化学家主要研究矿体残余热液渗滤与扩散在矿体周围岩石中的异常含量分布, 并称这类局部地球化学模式为原生渗滤或扩散晕(primary halo or leakage halo); 研究矿化遭遇风化, 在地表各种介质中形成的成矿元素和伴生元素的异常分布, 并称这种地球化学模式为次生分散晕或分

散流(dispersion halo or dispersion train)。只有少数文献涉及比局部分散晕和分散流更为宽阔的地球化学模式, 并称之为地球化学省(geochemical province)(Armour-Brown et al., 1970; Garrett et al., 1967; Hawkes et al., 1962; Bolviken et al., 1990)。

中国的区域化探全国扫面计划使用 1 km² 采集 1 个水系沉积物样品, 每四平方公里 1 个组合样进行分析。这项计划覆盖了全国约 600 万 km² 的国土面积。以如此密集的采样, 覆盖如此大的面积, 并取得极高质量的分析数据, 这在全世界是独一无二的。这使我们有条件发现从小于 1 km² 到数十万平方公里的不同规模的地球化学模式。谢学锦院士将这些不同规模的地球化学模式, 按照面积大小进行了系统分类(Xie et al., 1993)。表 1 为地球化学模式按规模大小的分类。

1.1 局部异常

局部异常包括各种类型, 规模只有几平方公里甚至更小的分散晕和分散流, 是最小一级的异常。它可以反映在矿体周围岩石中, 也可以由矿体风化过程中进入各种表生介质中。

1.2 区域异常

西方的教科书上至今没有区域异常这一术语。

^{*} 本文得到国家重点基础研究(G1999043212)和地质大调查项目(DKD9904005)资助
作者简介: 王学求, 男, 1963 年生, 教授级高级工程师, 博士, 从事勘查地球化学研究。
收稿日期 2001-03-06; 改回日期 2001-07-06。张绮玲编辑。

表 1 地球化学模式规模分类

Table 1 Categories of geochemical patterns based on size

规模/km ²	地球化学模式
0. n ~ n × 10	局部异常
n × 10 ~ n × 100	区域异常
1 000 ~ 10 000	地球化学省
10 000 ~ 100 000	地球化学巨省
100 000 ~ 1 000 000	地球化学域
> 1 000 000 ?	地球化学洲 ?

Hawkes 等(1962)和 Bradshaw 等(1973)的分类都是两类:局部模式和地球化学省。局部异常规模只有几平方公里,而地球化学省面积是几百至上万平方公里(Bolviken et al., 1990; Xie et al., 1993)。在这两者之间存在很大的间隙,根据中国区域化探全国扫面大量水系沉积物测量结果,发现一大批异常的面积从几十平方公里至几百平方公里。因此谢学锦提出应在局部异常和地球化学省之间增加区域异常这一概念(Xie et al., 1993)。区域异常是地壳各种介质中的元素的区域高含量带,异常面积可以从几十平方公里至几百平方公里。它可以是岩体侵入、区域变质作用的元素再分配、地层岩性差异、流体的扩散所形成的原生异常,也可以转化至各类表生介质中形成次生异常。

图 1 是胶东西北部包含有我国已知几个大型和超大型金矿,玲珑、台上、焦家、新城等金矿田周围区域性金异常。用 4 ng/g 做异常下限,圈出面积达 800 km² 的金异常。在这个区域金异常内包含着几个局部异常的浓集中心。

1.3 地球化学省和地球化学巨省

在勘查地球化学经典著作中地球化学省被定义为在地壳的一个较大片段内,化学组分与地壳的平均值有显著的不同(Rose et al., 1979)。它的介质是各种类型不同时代的岩石。Beus 和 Grigorian(1977)将地球化学省定义为“一片大规模的地壳单元具有共同的地质和地球化学演化特征,表现为地质体具有共同的化学组成,并且内外生金属元素和非金属元素的富集”。这个传统的省的定义还仅限于原生介质中,并且省规模的大小也没有明确的界限。可能是因为受到当时勘查地球化学的发展水平所限制,因为当时勘查地球化学还只是在很小的规模上进行勘查,除极少数几篇文献外,大多数涉及地球化学省的文献并没有实际地球化学省的资料,对地球化学省的存在只是根据成矿省来推测的。当时文献

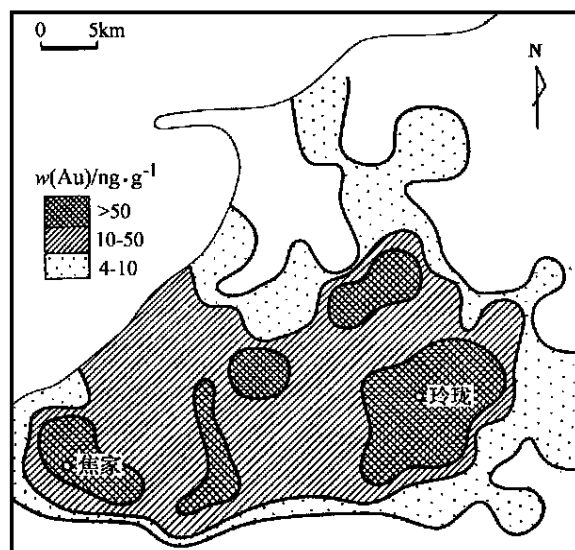


图 1 山东胶东金矿田周围区域性金异常(据山东地矿局区域化探扫面资料简化)

Fig. 1 Regional gold anomaly across Jiaodong gold camps in Shandong

中所引用的地球化学省,如秘鲁和智利的铜省、加拿大地盾的铀省、东南亚的锡省等,都是根据矿床的分布推测的。随着 80 年代大规模地球化学勘查活动的进行,特别是中国区域化探全国扫面的全面开展,覆盖面积的不断扩大,使得一些元素的地球化学省逐渐显露出来。谢学锦院士等根据中国大量的实际资料对地球化学省的定义重新赋予它新的内容,并明确规定了面积大小范围。地球化学省的规模从几千至几万 km²,后考虑这一范围过于宽广,又把地球化学省划分为地球化学省(1 000 ~ 10 000 km²)和地球化学巨省(geochemical magaprovence)(10 000 ~ 100 000 km²)。图 2 是我国胶东地区使用水系沉积物测量所获得的金地球化学巨省,用 2 ng/g 作异常下限,面积达 1.5 万 km²。

1.4 地球化学域

在过去的经典著作中,一直将最大的地球化学异常称作地球化学省。1990 年全国环境监控总站等单位联合进行全国土壤背景值研究,在全国采集了 4000 余件样品,在制作的土壤元素背景图中发现了一些规模巨大的地球化学模式,如在中国华南用 3.9 μg/g 等量线圈出面积近 70 万 km² 的钨异常。这一地区是我国,也是世界上最大的钨产地,一些大型钨矿都位于这一异常内。这样规模巨大的异常明显有别于地球化学省,谢学锦院士认识到这一发现将对

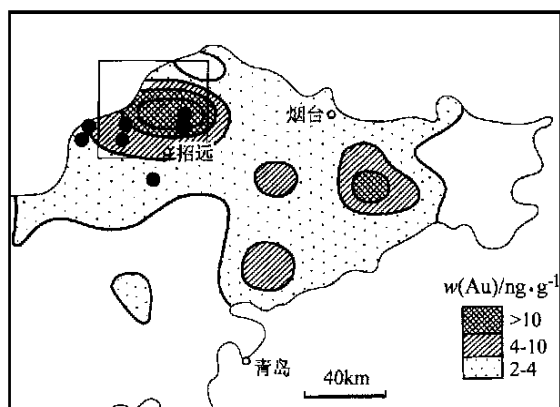


图 2 胶东地区使用水系沉积物测量所获得的金地球化学省

Fig. 2 Geochemical province of eastern Shandong

重新认识地球化学模式,对补充勘查地球化学理论具有重要意义,首次提出了在地壳中存在比地球化学省更大的模式,称作地球化学域。地球化学域的规模可以从十万到一百万平方公里。

1.5 地球化学洲

随着全球地球化学填图计划的实施,一些比地球化学域更大的全球模式有可能被发现。这些更大规模的异常暂时被命名为地球化学洲,面积将大于上百万平方公里。但地球上是否存在这样大的地球化学模式现在还很难预测。

1.6 套合地球化学模式谱系

上述按规模划分的地球化学模式,大多数情况下都不是孤立存在的,往往大一级的地球化学模式套合着小一级的地球化学模式。这种套合关系被称作套合地球化学模式谱系,指一系列由高到低多层套合异常组成的地球化学异常分布模式,局部异常被区域异常所包裹,而区域异常又被更大规模的地球化学省所包裹。如上面引用的两张图放在一起就是由 3 层套合关系组成的地球化学模式谱系,2 ng/g 作异常下限,圈出面积达近 15 000 km² 的地球化学巨省,套合着 4 ng/g 作异常下限,圈定的面积达近 1 000 km² 的区域异常(图 2),对这个区域异常进行分解,就会看到内部包裹着用 50 ng/g 作异常下限,面积几十平方公里的若干个局部异常(图 1)。

1.7 地球化学块体

上述地球化学模式都是从二维平面的角度进行划分的,事实上套合的地球化学模式应具有三维立体的特征。并且对于一个大规模的异常由于具有多

层套合结构的特点,每一层的异常下限也随着套合的层次多少而有所不同。为了表述这种具有立体结构和多层套合的大规模地球化学模式,谢学锦院士(1999)提出了地球化学块体(Geochemical block)的概念,用以概括地球化学省以上规模的所有地球化学模式。地球化学块体是指地壳上具有元素高含量的巨大异常体。在地表平面上表现为面积大于地球化学省以上规模,并且内部具有一系列套合的地球化学模式特征,在垂向上可能具有一定的深度,也就是说具有较大规模立体异常的地壳物质体。地球化学块体可以是由大型和超大型矿床或由一系列大小不等的矿床密集分布形成异常,也可以是某一特定地质单元富含某一种或某几种元素的反映。某些元素地球化学块体也可能沿着大地构造单元的边缘分布。地球化学块体对研究元素巨量富集,预测形成大型、超大型矿床的可能性,以及估算潜在的资源量具有重要的意义。从某种意义上说,地球化学块体对于矿产勘查与预测评价比利用成矿省或成矿区带或矿集区的解剖更为重要,因为成矿省或成矿区带或矿集区是在有了若干矿床被发现后才认定的,而地球化学块体是在矿床还没有被发现之前就可以圈定出来,因此它对于预测和评价新的成矿潜力地区更为重要。

1.8 不同规模地球化学模式的可能成因

过去勘查地球化学文献上对局部地球化学模式形成的研究很多,但对较大规模的地球化学模式区域异常形成的研究较少,而对地球化学省、地球化学域形成的研究就更少了。局部异常的形成主要来自于矿床或矿体的点源分散。区域异常的形成既来自于矿床或矿体,也来自于矿床周围原生晕的分散,而地球化学省,甚至规模更大地球化学异常的形成已无法用来自于点源的矿床或矿体分散来进行解释,地球化学省或更大规模的地球化学模式的形成无疑反映了元素分布的不均匀性。这种不均匀性可能有这样几点原因:地球初始组份上的差异;地球演化过程中元素的分异;地幔来源;宇宙来源,包括星子的聚合等。这是今后要进一步研究的重要内容,这里不述及。将不同规模地球化学模式的成因列表 2。

2 地球化学模式的成因分类

地球化学模式按成因又可分为原生模式和次生模式。原生模式是在原固结岩石中存在的,而次生

表 2 不同规模地球化学模式的成因

Table 2 Geneses of various sizes of geochemical patterns

分类	成因
原生	
地球化学域	地壳初始不均匀性 地壳演化造成的元素分异
地球化学省	地幔物质的加入 宇宙物质的加入 岩体侵入
区域异常	区域变质作用的元素再分配 地层岩性差异 流体的扩散
局部异常	围绕岩浆、热液和变质矿床周围的原生晕 沉积矿床周围元素的层状富集
次生	
地球化学域	各种原生地球化学模式被转移到各种表 生介质
地球化学省	
区域异常	
局部异常	

模式则是在地表风化作用中原生模式转移到各种地表介质中的,如土壤、沉积物、动植物、水及气体中而形成的模式。

2.1 原生地球化学模式

传统的原生分散模式是指在深成高温高压条件下形成的(Hawkes et al., 1962)。按照这一定义所形成的地球化学模式应该是保留在火成岩和变质岩中。在沉积岩中的模式就不应属于原生分散模式,但实际应用中这一定义非常混乱。这里为了与实际应用相一致,将沉积岩中的地球化学模式也列入原生分散模式,就是说将各种岩石中的化学元素分布模式统称为原生分散模式,将存在于岩石中的原生地球化学模式再分配进入各种表生介质中的模式称作次生地球化学模式。

原生模式可以分为同生模式和后生模式。同生模式是与围岩同时形成的分散模式,而后生模式是元素以某种方式进入早已存在的基质岩石中所形成的分散模式。Hawkes 等(1962)对原生分散模式进行了分类和描述。

同生分散模式的形成可以是火成岩浆的侵入、沉积作用或变质作用。在矿床形成过程中,在围岩中留下成矿的痕迹,也就是异常。同生异常可以表现为大到与整个矿源层相当的上千平方公里的地球化学省或地球化学域,小到与局部岩体相当的局部异常。对于区域异常和地球化学省这样大规模的异常模式反映的主要是赋含矿田或大型超大型矿床的矿源层特征。同生分散模式的意义在于它为我们圈

定有利于成矿围岩宽广的地球化学模式提供了理论基础。

原生后生分散模式主要是热液分散作用形成的模式。Hawkes 等(1962)将其划分为:①面形模式,来自深部的热液或其它流体浸润于一个大的岩体中所形成的宽广模式;②围岩模式,邻近热液通道的岩石被热液活动的改造;③渗滤模式,热液沿通道、构造和微裂隙运动所析出的矿液留下的模式。这与我国对热液模式的划分有所不同,我国将前两种模式统称为扩散模式。这种后生模式所形成的异常主要表现为局部原生晕。渗滤模式在矿体勘查中尤为重要,因为原生晕的组分分带和几何形态都是建立在这一模式的基础上的,这一模式为我们寻找某些类型隐伏矿床提供了理论基础和手段。

2.2 次生地球化学模式

岩石中的矿体和原生异常在风化过程中所含的元素遭到浸蚀,从原来的地点分散出去进入表生环境介质中(各种疏松覆盖物、水系沉积物、水、生物和气体),形成次生异常。

2.2.1 次生模式的类型

次生模式的营力是极其复杂的,其所造成的物质重分布的模式在成因、元素存在形式以及异常的强弱形态表现为多样性和复杂性。次生分散模式也有同生和后生两种。同生模式是与介质同时形成的,后生模式是晚于介质形成的。后生模式与同生模式有时在同一介质中可能同时存在,如土壤中,在土壤形成过程中可以由于岩石的风化与土壤同时形成,也可以因后来各种应力从别处将元素搬运来叠加于土壤介质中形成后生模式。

Rose 等(1979)根据形成的时间将次生模式分为同生和后生两种,又根据形成方式进一步分为碎屑模式、水成模式、生物成因模式。但近年来的研究表明,次生模式的成因是相当复杂的,很难用这 3 种模式进行概括,因此作者又增加了 2 种次生模式:气成模式和物理化学模式(表 3)。

碎屑模式 水、冰、风的机械搬运和重力作用对固体介质的搬运而形成的模式。

水成模式 地下水和地表水对元素的液体搬运所形成的异常模式。液体搬运并不等于物质溶于水中,而是包括可溶的和不可溶的两部分。

生物成因模式 植物的代谢可以将元素从土壤中积累起来,在植物体中形成同生异常模式。当它某一部分脱落和死亡以后,腐烂分解又可以在土壤

表 3 次生地球化学模式的类型
Table 3 Categories of secondary dispersion patterns

成因类型	分散过程	搬运营力	赋存介质	元素存在形式	异常形状
同生模式					
碎屑模式	原地风化 固体颗粒移动	重力 冰 水 风 地下水 地表水	风化残积物	耐风化的原生和次生矿物	上邻模式
			塌积物		扇及不规则上邻模式
			冰积物		扇及不规则模式
			冲积物		扇
			水系沉积物		线
			湖积物		扇
			风积物		扇
			地下水溶液		可溶性络合物、溶胶和离子
			地表水溶液		
			沉积与蒸发产物		
水成模式	液体运移				扇、线、侧移
生物成因模式	植物代谢	植物吸收	活植物组织 植物残屑	有机化合物	上邻模式和顶部模式
气体成因模式	颗粒或化合物	气体或气溶胶体	气体中	气溶胶、纳米颗粒、离子和络合物	顶部模式
后生模式					
水成模式	溶液移动	地下水 地表水	任何覆盖物中 水系沉积物中	可溶性盐类、有机物、吸附于粘土矿物、氧化物、胶体	上邻、侧移或线
生物成因模式	植物代谢产物的再分配	植物吸收	任何覆盖物中		顶部模式
气体成因模式	被气体载运或气溶胶体运移		叠加在任何覆盖物中		
物理化学成因模式	随溶液移动	蒸发	覆盖物中蒸发盐类		
	随溶液移动	毛细管	覆盖物中		
	随电场移动	电化学梯度	覆盖物中		
	浓度差	离子扩散	覆盖物中		

中形成后生模式。动物,特别是微生物也可以积累金属,造成异常。

气体分散模式 地壳中有少数组分在低温下呈气体,可以通过岩石与土壤中的孔隙直接逸散到达地表。通过分析地表气体、土壤孔隙气体、土壤中气体来发现气体分散模式。这些气体包括烃类气体、放射性成因气体、二氧化碳气体、二氧化硫气体及汞蒸气。

这些气体有的是矿床中成分直接分散形成的,是某些矿床的直接指标,如烃类气体可以直接来源于油气矿床的分散,放射性气体如氡及氡可以由放射性铀矿产生,但它们都是金属矿床的间接指标。近些年来研究发现,这些气体对金属元素的分散起着非常重要的作用。

物理化学分散模式 Goldberg 等(1978;1997)相继提出电化学梯度模式、蒸发迁移、离子扩散和毛细管作用。但这些模式都无法解释深部矿体可以经上百米的运移到达地表。因为这些运移方式的搬运

距离是非常有限的。所以近几年地气流的运移机制又被提出(Malmqvist et al.,1984;Wang et al.,1997)。这一运移机制被大家广泛地接受,作为深距离搬运的最可能方式。至于金属是否被气体从矿体中搬运至地表,还有待于证实,但在矿体上方气体中确实发现异常。可能金属颗粒小到足够小,呈亚微米至纳米级的颗粒,本身具有类气体性质,可以自己直接迁移至地表;也可能是金属气溶胶体颗粒迁移。无论是气体搬运,还是金属本身呈类气体形式或气溶胶体形式搬运,都是一种物理化学现象。所以我们可以将这些搬运统称为物理化学搬运,将所形成的地球化学模式统称为物理化学模式。

传递模式 在自然界中,地球化学分散模式的形成可能不是一次作用形成的,往往要经历两次以上的传递过程才能形成。如植物吸收作用模式的形成对那些较深的矿体就不可能实现,因为植物的根系最多能达到几十米深,但地下水的循环可以将成矿元素搬运至近地表潜水面附近,植物再对水分吸

收,就可以形成异常。

2.2.2 次生模式的形成过程

次生模式的形成主要要经历如下几个阶段:元素的释放→结合→搬运→固定。

元素的释放 次生异常的形成,首先应有元素从原生矿体或原生晕中被释放出来。这种元素的释放不仅为后来的搬运创造了条件,而且有的释放就直接可以形成次生异常,如对于矿体上方残积物中的异常主要是矿体风化过程中元素的释放直接形成的。影响元素释放的因素有物理风化、化学风化和生物风化。物理风化可以将岩石或矿石分解成更小的碎块,使得更大的面积与各种介质接触,以加速化学风化和生物风化过程。物理风化对元素的释放主要限于干旱地区、高寒地区和地形切割地区。风化过程可以是温差变化引起岩石的收缩和膨胀、冰川的磨擦、河流的冲刷以及风的侵蚀。生物风化既可以通过植物根穿入岩石中加速岩石的物理风化,又可以产生有机物、微生物等直接对元素的溶解或吸收。化学风化是通过水、气体和生物等对岩石的氧化和溶解使元素释放出来。

元素的结合 元素从原生介质中释放出来以后,可以直接成独立矿物被搬运,也可以与其它介质结合搬运。结合形式可以是物理形式的吸附、化学形式的溶解和生物形式的吸收。物理形式的吸附主要为胶体的吸附、粘土吸附和微气泡表面的吸附。化学形式的溶解主要是指元素溶解在地下水、地表水和水中的各种络离子等中而形成可溶性溶液被运移。生物形式的吸收主要是植物对元素的吸收。

元素的搬运 元素被结合或呈独立形式后可以被各种物理营力、化学营力和生物营力所搬运。

元素的固定 所谓固定只是一个暂时稳定的过程。当元素在搬运过程中,由于物理化学条件的改变将被暂时固定在适当的场所形成异常。元素沉积、固定可以通过 ① 水动力的减弱;② 氧化还原条件的改变;③ 氧化物、粘土矿物、碳酸盐、硫化物、次生盐类的吸附;④ 有机物的结合和生物的累积。

3 地球化学模式的成熟度分类

上述两种分类是必不可少的,但都无法解释到底异常与矿是什么关系?地球化学异常与矿的存在并不是一一对应的关系,有矿的存在,一定有地球化学异常的存在,但有地球化学异常的存在,并不一定

有矿的存在,即地球化学异常并不一定都是由矿引起的。那么异常到底发育到什么程度才是与矿有关呢?因此作者提出了地球化学模式的成熟度分类。地球化学模式的成熟度是指地球化学异常相对于矿的关系而言的,有的异常反映的是岩石中元素的初始含量水平,有的异常反映的是岩石虽经后来元素活化或叠加,但并没有达到最终形成有经济价值矿床的富集程度,有的异常是成矿的最终产物。所以笔者将这3类地球化学模式按成熟度的不同,依次成为原始地球化学模式、中间地球化学模式和终极地球化学模式。

3.1 初始地球化学模式

初始地球化学模式是指岩石形成时本身具有的某些元素高含量,反映的是岩性本身的特点,如基性和超基性岩本身具有亲铁元素和亲铜元素的高含量,某些含碳质黑色岩系,具有贵金属等元素的高含量。初始地球化学模式的特点是含量变化范围小,异常起伏平缓,不具有多层套合地球化学模式特征。

3.2 中间地球化学模式

中间地球化学模式是指岩石虽经后期改造使得其中元素发生活化而富集或后期热液所携带元素的加入而富集,但并没有达到最终形成有经济价值矿床的富集水平。这类异常可能大量存在,就是我们通常所发现的许多地球化学异常,经检查虽发现大量蚀变或矿化现象,但并没有找到有经济价值的矿床,因为元素的富集程度不够。这类异常的特征与含矿异常的特征很难区分。

3.3 终极地球化学模式

终极地球化学模式是由元素成矿过程最终聚集的产物,即形成有经济价值矿床的成矿过程,元素所留下的轨迹或成矿后元素的分散产物,它反映的是与矿有关的异常。这类异常是我们找矿时最为关注的。如何有效地区分这类异常是我们正在探索的重要研究课题。

4 结 论

地球化学模式的规模分类为选择合理的采样密度、预测成矿物质供应量和评价异常的成矿规模具有重要意义;地球化学模式的成因分类对于解释异常的形成过程具有重要意义;而地球化学模式成熟度的分类填补了评价异常含矿性的空白,但这只是

向着更加合理评价地球化学异常,提高找矿成功率迈出的重要一步,还有许多工作要做。

参考文献

- 谢学锦, 向云川. 1999. 巨型矿床的地球化学预测方法[A]. 见: 谢学锦, 邵跃, 王学求. 走向 21 世纪矿产勘查地球化学[C]. 1999. 北京: 地质出版社. 61 ~ 91.
- 王学求, 谢学锦. 2000. 金的勘查地球化学[M]. 山东: 山东科学技术出版社. 309.
- Armour-Brown A, Nichol I. 1970. Regional geochemical reconnaissance and the location of metallogenic provinces[J]. *Econ. Geol.*, 65: 312 ~ 330.
- Beus A A, Grigoryan S V. 1977. Geochemical exploration methods for mineral deposits[M]. Wilmette: Applied Publishing Co., 287.
- Bolviken B, Kellerud G, Loucks R. 1990. Geochemical and metallogenic provinces: a discussion initiated by results from geochemical mapping across northern Fennoscandia[J]. *J. Geochem. Explor.* 39: 49 ~ 90.
- Bradshaw P M D, Claws D R, Walker J L. 1973. Exploration geochemistry[M]. Ontario: Barringer Research Ltd., 1 ~ 50.
- Garrett R G, Nichol I. 1967. Regional geochemical reconnaissance in eastern Sierra Leone[M]. *Inst. Min. Met. Trans.*, London, section B, 76: 97 ~ 112.
- Goldberg I S, Ivanova A V, Ryss Y S, et al. 1978. Exploration for ore deposits by the CHIM method[M]. *ONTIVITR*, Leningrad, 75.
- Goldberg I S, Abramson G J, Haslam C O, et al. 1997. Geoelectrochemical exploration: principles, practices and performance[A]. In: the proceedings of The AusIMM 1997 Annual Conference, Ballarat, Australia[C].
- Hawkes H E, Webb J S. 1962. Geochemistry in mineral exploration[M]. New York: Harper & Row. 1 ~ 415.
- Rose A W, Hawkes H E, Webb J S. 1979. Geochemistry in Mineral Exploration[M]. New York: Academic Press, 657.
- Wang Xueqiu, Cheng Zhizhong, Lu Yinxiu, et al. 1997. Nanoscale metals in earthgas and mobile forms of metals in overburden in wide-spaced exploration for giant ore deposits in overburden terrains[J]. *J. Geochem. Explor.* 58: 63 ~ 72.
- Xie Xuejing, Yin Bingchuan. 1993. Geochemical patterns from local to global[J]. *J. Geochem. Explor.*, 47: 109 ~ 129.

Geochemical Patterns and Their Geneses

Wang Xueqiu

(Institute of Geophysical and Geochemical Exploration, Langfang 065000)

Key words: geochemical pattern, geochemical pattern based on area size, geochemical pattern based on genesis, geochemical pattern based on maturity

Abstract

The discrimination of mineralization-related geochemical patterns from barren ones has long been a dilemma for geochemists. The author has divided geochemical patterns into three categories based respectively on area size, genesis and maturity. The geochemical patterns can be divided into local, regional, provincial and domainal ones by area size, into primary and secondary ones by genesis, and into initiation, intergradation and termination ones by maturity. The categories of geochemical patterns based on maturity are proposed in this paper. The initiation geochemical patterns refer to elemental concentration related to rocks. The intergradation geochemical patterns are generated from elemental redistribution or accumulation resulting from some geological processes, but the accumulation of elements are not caused by ore-forming process. The termination geochemical patterns are produced by ore formation. The categories of geochemical patterns based on maturity will perhaps open a new way to assess geochemical anomalies in future.