

# 勘查地球化学: 发展史·现状·展望

谢学锦

(中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所, 廊坊 065000)

**[摘要]** 勘查地球化学是 20 世纪 30 年代末兴起的最年轻的地学分支学科之一。综述了这门学科从 40 年代到 90 年代的重要进展, 它在这 60 余年发展中建立的理论基础是研究矿床物质向四周各种介质中分散所形成的各种分散模式, 它的方法学是研究从这些分散模式反向追踪找到有经济价值的矿床的各种方法; 但由于地球化学填图, 特别是中国的地球化学填图, 取得了数以百万计平方千米面积上数以千万计的数十种元素高质海量数据, 从而发现了各种规模的宽阔的地球化学分布模式, 这些模式不仅是矿床物质分散所引起的, 而且主要是从地球形成及其后长期演化所形成, 它们被称为各种规模的地球化学块体, 并为大型至巨型矿床的形成提供充足的物质供应。这种从分散模式到分布模式、从着眼局部到全球的新概念及其由此而形成的新的方法学将使勘查地球化学的发展出现新的突破。在勘查地球化学发展史上另一个重大的转折点是勘查地球化学今后的目标不仅是解决矿产资源问题, 而是要在环境监测、治理上不仅着眼于局部的矿山环境, 而要着眼于全国乃至全球的环境生态系统的调查。

**[关键词]** 勘查地球化学 分散模式 分布模式 地球化学块体

**[中图分类号]** P632 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 0495-5331(2002)06-0001-09

勘查地球化学是 20 世纪 30 年代兴起的地质最年轻的分支学科之一。它是地质与化学相结合的产物, 即用化学方法找矿。它在 30 年代的突然兴起取决于下列因素: (1) V M Goldschmidt 在 Gottingen 以及 A E Fersman 与 V I Vernadsky 在列宁格勒和莫斯科大规模发展发射光谱方法, 研究痕量元素的分布与迁移, 开创了痕量元素地球化学的新时代; (2) 利用这种新的光谱分析技术在矿床四周的土壤、岩石、水系沉积物及植物中发现了成矿元素的浓集, 从而提出了分散晕与分散流的新概念。

北欧与前苏联的一些研究者(大多是 Goldschmidt, Fersman 和 Vernadsky 的学生)利用这样的新技术与新概念, 在许多已知矿区取得了满意的结果, 在一些未知区也取得了一些成果。

## 1 发展史

1941 年, 前苏联的 Ye A Sergeev 出版了《地球化学探矿法》一书。这是对苏联在这之前 5~6 年中所进行的这项工作的总结, 是世界上第一本系统阐述地球化学勘查理论与方法的著作。美国地质调查

所于 1948 年成立了地球化学探矿研究中心, 广泛开展了野外及室内研究工作, 并开始研制各种快速现场比色方法, 这些方法在 50 年代与 60 年代在西方国家与中国的地球化学探矿中起了重要作用。

20 世纪 50 年代是各发达国家纷纷成立地球化学研究机构的时期。中国虽是发展中国家, 但地球化学探矿研究室是 1952 年建立的(首次实验在 1951 年), 比英国建立地球化学探矿研究中心(1953)还早一年。法国的化探研究机构是在 1955 年建立的, 而德国和意大利建立得还要晚一些。

50 年代是地球化学方法扩大应用并开始取得显著找矿效果的时期。H Bloom 研制的冷提取方法在许多勘查与矿业公司得到了广泛的应用。需要特别指出的是, 美、英、加联合在加拿大新不伦瑞克用冷提取方法进行的低密度水系沉积物地球化学普查, 在短短几年的时间内就找到了像 Mount Pleasant Restigouche 及 Nash Creek 那样有工业价值的矿床。与此同时, 前苏联的 Miller 和 Solovov 亦用半定量光谱分析方法将“普查金属量测量方法”应用于哈萨克斯坦, 并取得了显著的效果。

[收稿日期] 2002-09-12; [修订日期] 2002-10-10; [责任编辑] 曲莉莉。

[作者简介] 谢学锦(1923 年-), 男, 1947 年毕业于重庆大学, 院士, 现主要从事资源与环境地球化学工作。

60 年代是勘查地球化学迅速发展成长的时期,它已为许多找矿公司所采用。此时原子吸收方法已广泛取代了比色法。联合国为发展中国家提倡的矿产勘查计划以地球化学勘查为其主要内容,而加拿大湖积物测量工作的大规模开展使地球化学方法技术在北半球被冰积物覆盖的广大地区取得了重大突破。

H E Hawkes 与 J S Webb 于 1962 年出版了《矿产勘查的地球化学》一书,系统阐述了勘查地球化学的理论体系与方法学。此书的出版连同 1966 年第一届国际化探学术讨论会在美国 Golden 的召开以及 1970 年国际《地球化学勘查杂志》的创刊标志着勘查地球化学已从一种找矿方法演变成了一门重要的地学分支。

勘查地球化学在 70 年代进入了它的全盛时期。高效率多元素定量分析仪器及方法的使用产生了区域地球化学与地球化学填图的新概念,许多国家的全国性地球化学填图计划都开始于这个时期。美国 and 加拿大根据世界铀矿资源紧缺的情况分别制定了全国性的铀矿资源普查计划,其核心部分是水系沉积物地球化学测量与水化学测量(美国)或湖积物测量(加拿大)。结果发现了一批新的铀矿产地。另外,在全世界找斑岩铜矿的热潮中,许多找矿公司在从加拿大、美国、中美、南美到东南亚的环太平洋地区,使用地球化学方法发现了许多斑岩铜矿。P Bradshaw 的《勘查地球化学的概念模型》一书的出版标志着勘查地球化学分散模式的研究取得了重大进展。H E Hawkes 发表的《勘查地球化学文献目录》是这个时期的另一项里程碑式的工作,这个目录成了那个时期的勘查地球化学家的案头参考书和工作手册。

A A Beus 和 S V Grigorian《矿床地球化学勘查方法》一书英译本在 1977 年的出版是勘查地球化学发展史上的又一个重要的里程碑。它使全世界了解了前苏联从 50 年代到 70 年代利用原生晕找盲矿所取得的辉煌成就。遗憾的是,中国与前苏联的学者在 50 年代几乎同时发现了原生晕的组分分带现象,并在找盲矿方面同样取得了显著的效果,但由于文化大革命使中国在原生晕研究中取得的成就迄今鲜为国际化探界所知。

中国的区域化探全国扫面计划在 1979 年提出。这一计划从一开始就努力建立多仪器多方法分析系统,并强调对痕量及超痕量元素的检出限必须降至其地壳丰度以下,和用标准样严格监控实验室间的

偏倚,使数据今后得以全球对比。因此,中国的地球化学图上的信息与质量都是其他国家不能相比的。

80 年代是勘查地球化学在找金矿上开始取得重大突破的时期。西方学者研制了堆浸分析技术(BLEG):在实验室中称取数百克样品,以减少粒金效应。它对解决金分析中严重的误差问题作出了贡献,使地球化学方法在 80~90 年代期间,在 14 个特大型金矿的发现中起了关键性的作用。中国则在解决金矿勘查的难题中走了另一条完全不同的道路。这是因为我们发现金矿床的四周存在着规模很大的、含量仅在十亿分之二~四的区域性异常,并且还发现金不仅以自然金颗粒的形式存在,而且还大量地以超微细颗粒( $< 5\mu\text{m}$ )的形式存在。这些发现使我们有可能巧妙地绕开粒金效应的问题,针对超微细金将金的分析检出限降至百亿分之二,去圈出有经济价值的金矿床四周的数十至数百平方千米的区域性金异常。这就大大扩大了找金的靶区;用这种方法找金使中国的金矿勘查获得了突破性的进展。

80 年代勘查地球化学的另一个具有里程碑意义的重大事件是 1988 年初联合国教科文组织国际地质对比计划(IGCP)批准了国际地球化学填图研究项目(IGCP 259 项目)。这一项目旨在使各国的地球化学填图方法标准化,以提高地球化学填图的质量,使地球化学图在矿产资源评价及环境监控方面发挥重大的作用。

90 年代的进展使勘查地球化学以全新的面貌进入了 21 世纪,它的重要标志是:(1)澳大利亚学者研究砖红土演化与找寻隐伏矿床的关系,从而发展了风化层地球化学(Regolith Geochemistry),这为地球科学过去重视不够,而又与人类生命关系密切的地球表层的研究做出了榜样;(2)澳大利亚、瑞典、美国、加拿大、俄罗斯及中国各自发展的各种获取来自深埋于阻挡层之下的隐伏矿发出的信息的技术导致了深穿透地球化学(Deep-penetrating Geochemistry)的诞生;(3)勘查地球化学将从只研究局部异常发展到从全局的眼光去研究地球上不同尺度的元素分布的不均匀性,这将促进区域性、全国性及全球性地球化学填图的发展,并对解决资源与环境重大问题作出贡献。

## 2 沿用的理论基础

勘查地球化学是从一门找矿技术即地球化学探矿方法发展起来的,因而它的理论是在广泛应用各种技术进行找矿的基础上建立起来的。从它诞生的

20 世纪 30 年代起直到 80 年代, 它研究的中心对象是矿床。它的理论基础是矿床物质通过分散过程在四周的各种介质, 包括岩石、土壤、水系沉积物、地表水、植物及空气中形成各种类型的地球化学分散模式(图 1), 根据这些分散模式可以追踪和发现新矿

床。多年来的研究重点都是放在矿体受到风化后矿石物质从矿体分散出去所造成的次生异常。  
次生异常可以按它们与介质在形成时间上的关系分为同生的与后生的。还可以按异常的形成方式和存在形式分为碎屑的、水成的、生物成因的与气成的(表 1)。

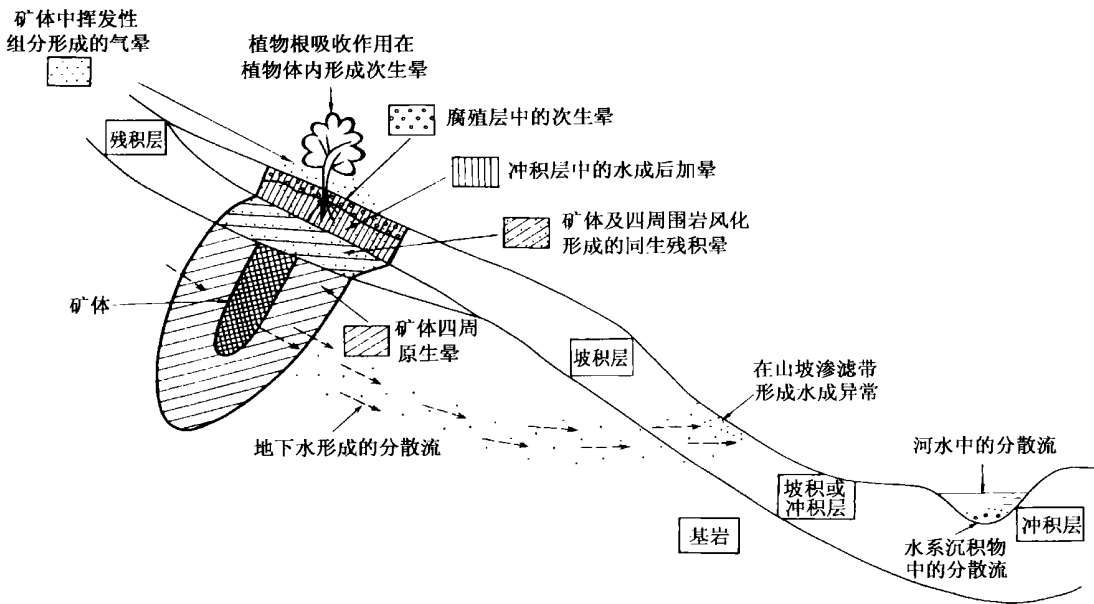


图 1 各种类型的分散模式(分散晕和分散流)

表 1 次 生 异 常 的 分 类

成因分类	分散过程	主要搬运营力	介 质	分散元素存在形式	形 态
同生异常	原地风化	重力	残积物、风化岩石	耐风化的原生与次生矿	矿上模式, 分散晕
			残积物、风化岩石 塌积物	物、粘土矿物及次生水	分散晕, 分散移模式
			冰碛物	合氧化物的副成分	分散散, 侧移模式
			冰水沉积物		分散流, 侧移模式
			水		
			片冲沉积物		分散扇
			水系沉积物		分散流
			湖积物		分散扇
			风		分散扇
			风积物		分散扇
后 生 异 常	溶液移动	地下水	地下水资源	可溶盐、络合物及	分散扇
			地表水	胶体	分散流
			沉积及蒸发物	沉淀的盐	侧移模式
			活植物组织	金属有机化合物	矿上及侧移的模式
			有机碎屑		
			任何碎屑覆盖物	吸留于粘土矿物上的离	矿上模式
			渗透带土壤	子、水合氧化物及有机	侧移模式
			水系沉积物	物, 在水合氧化物中共沉	分散流
			任何碎屑覆盖物	淀或包藏的离子、金属有	矿上及侧移模式
			营养液土壤分布	机化合物, 沉淀的盐类	
气 体 异 常	气体移动	气体	任何碎屑覆盖物	与土壤组分化合, 吸	矿上模式
			土壤空气	留于土壤颗粒上成游	
			大气	离气体存在, 溶于水中	矿上模式, 分散扇, 分散流
			水		分散扇

碎屑异常(与之大致对应的苏联术语是机械分散晕):呈稳定的原生或次生矿物的碎屑存在。碎屑异常可以是原地风化形成的,如矿床上方残积土内的异常,也可以是各种机械应力(如重力、水、冰及风)搬运形成的,如各种运积物中的碎屑异常。

水成异常(大致对应的苏联术语是盐晕):异常物质曾经在水中呈简单离子、络合物或胶体等形式搬运过。如果异常物质仍留在水中,这种水成异常叫做水化学异常;如果异常物质在水中经过一度迁移后,以各种方式(如沉淀、共沉淀、胶凝、吸附等)析出在某些疏松物质之中,则称为某种覆盖物或沉积物中的水成异常。分辨水成异常与碎屑异常的一种有效方法是研究能被冷柠檬酸提取出的金属占全金属的含量的比例。在自然界,次生异常大多呈混合形式,即异常中有碎屑部分,也有水成部分。如果冷提取金属占全金属量 1%~5% 或更低,异常几乎完全呈碎屑形式;如果冷提取金属含量占 20% 以上,则异常中的水成部分占优势。

有时由于地下水或毛细管水的上升,隐伏矿体可以在地表覆盖物中形成水成异常。

生物成因异常:生物活动所形成的异常。如植物吸收了某些元素后在植物各器官内聚集而成的异常,或者植物残体在地表腐烂分解而在腐植土中形成的异常都属生物成因异常。

动物活动也可使异常物质迁移,例如白蚁可以把深部的风化物质带至地表。在非洲,已经在应用采集白蚁巢中的物质来找矿的方法。在异常地区的某些动物体内也会有明显的异常存在。但这种异常尚未在找矿实践中应用。

气成异常:各种类型的矿化会释放出一些气体或者在风化过程中产生一些气体(如  $Rn$ 、 $He$ 、 $Hg$ 、 $I_2$ 、 $SO_2$ 、 $H_2S$ 、 $CO_2$ 、 $O_2$  等)。这些气体可以穿过厚数米、数十米,甚至一、二百米的覆盖层达于地表。它们可以赋存于近地表的大气中、土壤间隙气中,被土壤颗粒吸附,溶于水或者重新凝集或与其它组分化合。

次生异常还可以根据它们所赋存的介质种类进一步划分为残积物异常、各种运积物异常、水化学异常、植物异常、气体异常等等。

根据异常形态及其与异常源的空间关系,还可以把次生异常分为晕、扇与流。环绕在矿体或异常周围的次生异常称为次生晕。以矿体或异常源为顶点,沿着一定方向(例如冰川作用、片冲作用或风力作用的方向)呈扇形展开的次生晕常称为分散扇。

在矿体或异常源下游,沿着地表水道呈线状延伸的次生异常称为分散流。沿着气流延伸的气体异常也可称为分散流。

原生异常是在岩石中形成的异常,也可以分为同生的及后生的(表 2)。同生的原生异常可分为岩浆侵入体中的同生异常和沉积岩中的同生异常,它们是在成岩过程中同时形成的;异常的存在显示了岩体或岩层的含矿性。后生的原生异常最主要的是热液矿床四周的热液渗滤晕,这是成矿热液在沉积成矿时残余热液继续在成矿通道中运移,在矿体前缘部位形成的,可以利用在地表发现的原生晕追踪地下数百米的盲矿体。

表 2 原生异常的分类

同生异常	地球化学省	地壳大范围内的元素含量异常
	区域同生异常	岩浆侵入体中的同生异常 沉积岩中的区域富集层位
	局部同生异常	岩浆矿床四周的原生晕 沉积矿床中的区域富集层位
后生异常	区域后生异常	区域渗滤异常 区域气成异常
	局部后生异常	热液渗滤晕 扩散晕 气成晕 蚀变晕 化学地温模式 同位素地温模式

据 Hawkes and Webb (1962) 略加修改。

3 沿用的工作方法

勘查地球化学沿用的工作方法多年来都是根据样品的种类决定的,最主要的方法有地球化学岩石测量、地球化学土壤测量、水系沉积物测量、水化学测量、生物地球化学测量及气体地球化学测量。

岩石地球化学测量主要是系统采集地表岩石、岩石碎屑、岩石裂隙中的附着物样品,分析其中的痕量金属来圈定矿体;对于深部盲矿体出露在地表的原生分散晕,可以分析据此布置的钻孔中的岩心以进一步追索深部矿体的位置。这种方法在俄罗斯和中国应用颇广,并取得了一定的成效。西方国家相对较少使用这种方法找寻盲矿。一些特殊的岩石测量方法,例如专门采集某种火成岩体的样品以及采集从岩石或矿石中分离出来的矿物以评价岩体含矿性的方法,都还处于试验研究阶段,并且看不出在短期内会大规模应用到生产上的前景。

土壤地球化学测量系统采集地表各种风化的疏松物质,研究其中痕量元素的含量及其他地球化学

特征,测量的目的是发现与矿化有关的各类次生异常,进而发现疏松覆盖层下方的矿床。残积层土壤测量是化探方法中最成熟、最有效的,因为残积层中的异常经常是下伏矿化的最可靠的直接指示,因而它是全世界最广泛使用的地球化学方法。运积层土壤(包括冲积物、冰碛物、塌积物、风成砂等)测量随地理环境及使用的方法技术是否得当而效果相差悬殊。在进行运积层土壤测量之前必须进行试验测量,研究当地覆盖物的特性,确定工作方法、采样物质、采样层位、特殊的分析方法等,要试用各种方法去发现近地表的后生水成异常,或者大量使用机动浅钻采样。

水系沉积物测量方法是系统采集水系沉积物样品,研究其中各种痕量金属的含量及其他地球化学特征,以发现与矿化有关的异常,并向上游追索找寻矿床的方法。它是一种效率较高的普查方法,可以根据在汇水盆地口上采集的、相对较少的样品,了解汇水盆地上游的矿化情况。这种测量的采样布局及采集的物质依目标的大小、水系分布模式及金属元素在水系中的衰减模式而定,最广泛使用的是河床底部的活性沉积物。世界上许多国家进行的地球化学填图计划都采集这种样品。在有些情况下,也可以采集河床两岸的河漫滩沉积物。筛取水系沉积物样品中小于80筛孔的细粒部分进行分析,已成为全世界通用的标准方法。除此之外,在特殊的地理条件下,以及为了特殊的目的,还可以采集水系沉积物中的粗粒部分、卵石或砾石、卵石或砾石的铁锰覆盖膜、水系中的铁锰结核、重矿物、水中悬浮物。

气体地球化学测量是系统地提取天然物质(如土壤、大气)中的挥发性物质及气体以发现与矿化有关的气体异常并进而寻找隐伏矿床的方法。气体地球化学测量测定的指标有 $\text{Hg}$ 、 $\text{I}_2$ 、 $\text{SO}_2$ 、 $\text{H}_2\text{S}$ 、 $\text{CO}_2$ 、 $\text{O}_2$ 、 $\text{He}$ 、 $\text{CH}_4$ 等,而以汞测量方法研究得最多,一度曾认为它是找寻被厚层运积物或成矿后沉积岩覆盖的隐伏矿床的最有效的方法,但近年来发现汞异常主要与构造有关。矿化的构造与无矿的构造都可能在地表有汞异常出现。因而这种方法在找地下水与工程地质方面有更大的应用前景。从70年代开始,各国进行了大量的气体地球化学测量研究工作,但由于形成气体异常的原因很复杂,解释相当困难,因而一直未得到广泛应用。

湖积物测量在一些多湖国家的区域化探工作中得到了广泛的应用。在加拿大北部,湖积物测量已发展成为区域化探的标准方法。这是因为加拿大湖

泊密集,而水系支离破碎,且受阻滞。加拿大从70年代初期开始使用湖边沉积物测量,但这种样品只能反映汇水盆地一个侧面的金属含量。其后开始试验湖心沉积物测量,这种物质更能反映周围汇水盆地中金属含量的平均值。加拿大使用直升飞机及特殊的采样器采集湖心沉积物,采样密度为每 $13\text{ km}^2$  1个点,每小时可采集14个样品,亦即每小时可以扫描 $180\text{ km}^2$ 。

水化学测量是系统采集地表水或地下水(如河水、湖水、泉水、井水等)的样品,分析水中微迹元素及其他地球化学特征,发现与矿化有关的水化学异常以寻找矿床的方法。此法对寻找以活性强的金属(如铀和钼)为指示元素的矿床效果最好。采集水样后可以就地分析,也可以运回实验室分析。在保存和运输水样时需要用稀盐酸将其酸化,以避免水样中微迹元素的损失(沉淀等)。或者使用离子交换树脂、有机溶剂及某些共沉淀剂,将水样浓缩后再运输。分析湖水是快速评价区域含矿性的好方法。分析泉水及井水可以发现盲矿及埋藏异常。水化学测量的作用与水系沉积物测量类似。但水化学测量的结果受季节性变化的影响较大。在钙质环境中,由于许多金属(除铀、钼外)的活动受到阻滞,水化学方法的效果不好。

生物地球化学测量是系统地测量生物中的微迹元素含量或研究其他地球化学特征,以发现与矿化有关的生物地球化学异常进而寻找矿床的方法。系统地测量植物(主要是深根植物,例如乔木、灌木等)中的微迹元素含量或其他地球化学特征,以发现其中的地球化学异常(称为植物异常)并进而寻找矿床。在厚层运积物覆盖地区采集深根系植物样品可以有效地发现埋藏异常,但在这种条件下使用腐残层采样有时也可以达到同样的效果。

广义的生物地球化学测量还包括某些动物体的研究和微生物测量。利用动物体内的元素含量作为找矿线索的报道较少。例如,有人研究过利用生活在湖水中的鱼的肝脏所含的金属来在化探普查中评价区域的含矿性等。

寻找油气藏的微生物测量方法在石油化探中广泛使用,而用于寻找金属矿床的微生物测量方法报道得非常少。有人研究过某些细菌(如氧化庚烷细菌、固氮细菌等)的生长与环境中的钼、锌、锰、铜等元素的含量有关,并认为有可能利用这类细菌来寻找金属矿床,但迄今为止尚未取得显著的成效。

所有的地球化学勘查方法都需要有相应的分析

技术来分析所采集的各种样品,因而勘查地球化学方法的发展与分析技术的发展是密不可分的。30 年代末 40 年代初发射光谱方法的出现导致了勘查地球化学在苏联的诞生,快速比色方法的出现推动了地球化学勘查方法在美、英、加、德、法等国的发展,而 70 年代原子吸收方法的大规模应用则使地球化学勘查从一种局部的辅助性的找矿方法开始向区域性的战略性方法转变,80 年代等离子火焰光谱方法在勘查地球化学中的应用,促成了各国地球化学填图的实施,最后,到了 90 年代,等离子质谱法又大大增强了地球化学方法找隐伏大矿的能力。

必须指出的是,勘查地球化学十分强调应用,这使它的方法学发展走在基础研究之前。20 世纪 60 年代,许多矿业公司及研究部门已开始将土壤测量、水系沉积物测量等方法应用于区域性工作。70 年代已开始将这些方法以及生物地球化学方法运用于大规模区域性或国家性多元素地球化学填图,并取得了显著的找矿成效。这些都超出了从矿床点源出发的地球化学分散模式理论的范畴。

#### 4 今后的展望

对勘查地球化学今后的展望有着不同的看法。

L G Closs 在加拿大温哥华召开的勘查 97 大会上作总结报告时对勘查地球化学今后的发展是这样说的:“勘查地球化学的基本原理已经建立。这一学科已发展成熟。今后的发展方向是对已有技术的细化与改进”。这代表了许多勘查地球化学家的看法,也反映了勘查地球化学的现状。从图 2 上可以看到,勘查地球化学文献的数量从 90 年代以后便持续下降。这似乎证实了 Closs 的看法,勘查地球化学的发展高潮已经过去,作为一门科学,以后的任务只是对已建立的理论与方法做深入的工作,主要是大规模地投入应用。

许多勘查地球化学家不甘于这种现状,加之矿业界持续萧条,需要另觅出路,故而纷纷进入环境地球化学领域。勘查地球化学家进入环境地球化学领域有着特有的优势:他们可以把研究矿床物质地球化学分散的理论与方法应用于人为污染源的分散过程。正因为如此,国际勘查地球化学家协会正在热烈讨论修改协会的章程,准备将勘查地球化学家协会改名为勘查与环境地球化学家协会。

作者认为,勘查地球化学家进入环境地球化学领域是大势所趋,勘查地球化学家协会准备改变名称是明智之举。但并不认为针对矿产的勘查地球化

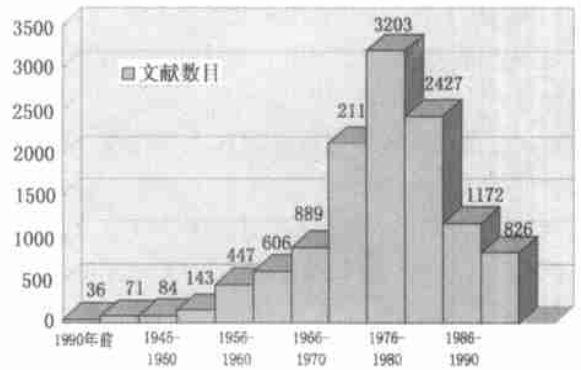


图 2 20 世纪各个时期所发表的勘查地球化学文献的数量变化图

学已发展成熟,它毕竟还是只有 60 余年历史的年轻的科学。它近年来的徘徊与停滞只是在等待新的思路的诞生,以便打开新局面,造成新的突破。

作者认为,研究地球化学分散模式的矿产勘查地球化学在它 60 年的发展中的确已成熟,但自然界存在着更为宽阔的地球化学分布模式,对它的理论与方法学的研究还刚刚开始。地球化学分散模式的研究是从矿床的形成开始,而地球化学分布模式的研究则一直追溯到地球的太初形成及其后漫长的演化(图 3)。

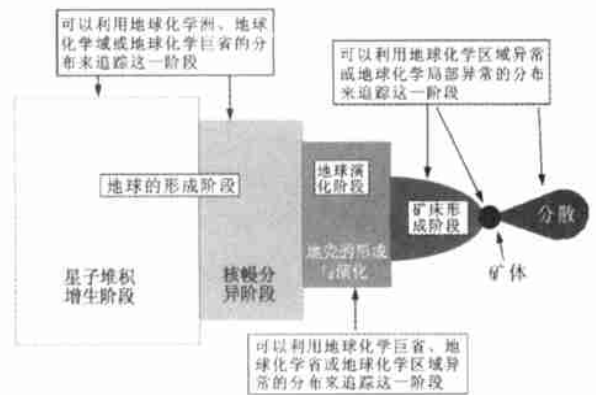


图 3 地球的太初形成与演化

这种新思路是基于中国地球化学填图(区域化探全国扫面计划)取得的数以千万计的海量高质量的 39 种元素的含量分布数据并经多年的酝酿而产生的。我们现在把自然界的地球化学模式按其分布的规模做如表 3 所列的划分。

目前,根据地球化学填图资料圈定的这些地球化学模式是巨大岩块经风化后在表层的反映。给定一个厚度,我们就可以计算出这一岩块中的总的金属吨数。

我们把超过 1000 km<sup>2</sup>、某些金属元素含量显著高于四周正常含量的岩块称之为地球化学块体

(Geochemical blocks), 这些地球化学块体出露在地表的面积可自数千平方千米至数十万平方千米, 甚至更大。这是地球形成时的太初不均匀性造成的。对一些巨大的地球化学块体内部结构的研究表明, 在原始金属供应量的规模不同的前提条件下, 不同大规模成矿作用的规模是各不相同的。

表 3 地球化学模式的划分

地球化学模式	范围 (km <sup>2</sup> )	形成
地球化学洲	> 1 000 000	星子堆积, 增生
地球化学域	100 000~ 1 000 000	核幔分异
地球化学巨省	10 000~ 100 000	地壳生长与演化
地球化学省	1 000~ 10 000	地壳演化
地球化学区(区域性异常)	100~ 1 000	矿床形成
局部异常	< 100	矿床形成与分散

大量研究表明, 这些块体中蕴藏的金属量与其中的资源量存在着耦合的关系。可以利用地球化学块体内部套合的地球化学模式谱系, 用谱系树图解逐步聚焦及其它方法来追索找大型或巨型矿床最有远景的地区。

将每个 1: 20 万图幅中区域化探全国扫面数据(约 1000 余数据)平均, 取平均值置于图中央。利用这样的数据集计算出各元素的块体下限值就可以圈出中国境内各种成矿元素的地球化学块体分布图。取每个 1: 5 万或 1: 2.5 万图幅内元素的平均值(约 100 或 25 个数据)可以进一步了解块体内部的结构及元素浓集的趋势。

图 4 示位于中国西南部的中国最巨大的一个 Cu 地球化学块体(达 万平方千米)。将区域化探全国扫面数据按每个 1: 5 万图幅取 1 个平均值, 圈出此块体内部的浓集趋势。从图 4 可看到, 东川大型铜矿床即位于块体内最大的一个浓集中心之中。我们多年前就预测在此巨型块体内应可找到新的大型至巨型铜矿床, 但四川、云南及贵州省的地矿局在此块体内做了大量的野外调查, 只发现了一些不够品位的分散矿化。最近, 中国科学院广州地球化学研究所的朱炳泉根据他的地球化学急变带理论与区域化探资料已在鲁甸、宣威、盘县一带凭借他丰富的野外经验及现场点滴分析与镜下观察, 发现了难识别的具工业价值的火山凝灰角砾岩层控铜矿床。这一重大发现将给在西南铜的巨型地球化学块体内找寻铜矿(以及铂、钨、多金属、镍- 钴)打开局面。因为这里不仅存在巨型的 Cu 地球化学块体, 还存在着与铜矿体相互叠加错动的 Pt、Pd、Pb- Zn、Ni、Co、

Au、Ag 的巨型地球化学块体。

从 30 年代以来, 勘查地球化学家们就一直在全力研究各种类型的分散晕、分散流和分散扇, 但只是在矿体四周不到 100 km<sup>2</sup> 的局部异常范围内进行工作。而今一系列宽阔的地球化学模式的发现必将使勘查地球化学扩大眼界, 并使它的理论基础和应用研究发生巨大的变化: 从研究点源(矿床)中化学物质向四周各种介质中分散而形成的各种元素的地球化学分散模式(Geochemical Dispersion Patterns)发展到从全球观点、从地球上元素分布的不均匀性来研究各种元素的地球化学分布模式(Geochemical Distribution Patterns)及其内部结构; 从以矿床为中心研究在成矿期间及成矿之后, 在矿床四周发生的各种地球化学事件, 发展到从地球形成之时的太初不均匀性开始, 追索各种金属元素在漫长、多期的地质过程中逐步聚集成矿的全过程。这种观念上的变化目前还只是处于开始阶段。但一旦开始, 它就将不仅为 21 世纪勘查地球化学理论基础的研究开辟新的天地, 改变 21 世纪的找矿战略, 而且还将为大规模成矿作用的定量研究开辟新的途径。

勘查地球化学基础理论与方法学方面可能发生的另一个重大变化与各种新的深穿透技术(例如, 瑞典的 GEOGAS 方法, 澳大利亚的 MMI 方法, 加拿大的酶提取方法, 俄罗斯的 CHIM 方法及中国的 MOMEQ 及 NAMEG 方法等)的发展密切相关。在地表接收到的深部矿体或矿化全过程传输到地表的信息, 将使勘查地球化学在寻找隐伏矿的方法技术上取得重大的突破。

许多勘查地球化学家认为, 这些方法只是过去的偏提取技术的延伸, 属于 Closs 所说的对已有技术的细化与改进。的确, 国外的各种深穿透方法只是用于详查, 它们仍是建立在“点源分散”的理论基础之上的。但中国的 NAMEG 与 MOMEQ 方法却不仅能用于详查, 而且可用于战略性普查与踏勘; 它们不仅接收直接来自隐伏矿体的信息, 还可以接收隐伏或半隐伏的巨大的地球化学块体从深部发出来的信息。这些新技术的发展是基于全球性的地球排气作用和大量亚微米与纳米颗粒物质在成矿过程中所起作用的新概念。这又可以大大开阔勘查地球化学家的眼界, 将勘查地球化学的理论研究扩展到研究这种地球气的来源及其从深部向上传输的机理。这不仅使勘查地球化学的理论基础从表生作用领域扩展到深部地质学领域, 而且还可为深部地质学及地球动力学的研究提供新的思路及有价值的基础信



息。

勘查地球化学家进入环境地球化学领域, 主要是进行局部矿山环境的研究, 这仍然是建立在点源分散的概念上的。但 I. Thorton 早已指出, “由于地球化学图与图集继续覆盖更大的面积, 90 年代将为科学家提供一个激动人心的机会, 那就是可以开始用全球眼光去研究那些过去只能在局部和区域尺度上去研究的环境问题”。M L Zoback 在美国地质学

会 2000 年年会的理事长演说中指出, 应对整个环境系统进行地球化学填图。通过 IGCP259/ 360 项目、欧洲 26 国地球化学填图以及白令海环境地球化学填图项目的实施, 这一发展趋势已日趋明显, 特别是中国在浙江省为解决农业问题的多目标地球化学填图和即将在四川、湖南与安徽进行的生态地球化学填图明确针对整个生态环境系统进行, 将对勘查地球化学的这一发展趋势起巨大的推动作用。

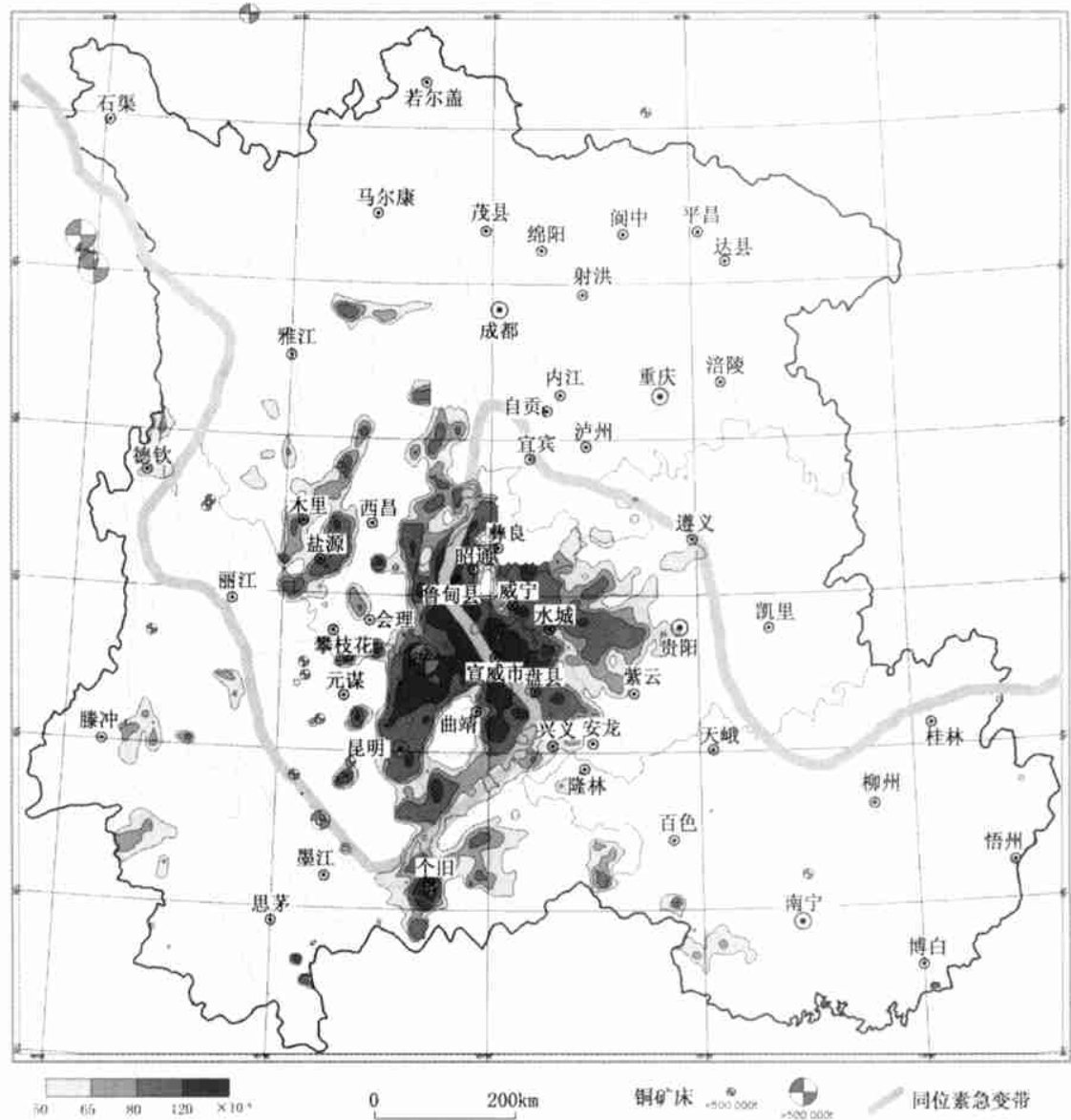


图 4 中国西南四省区的铜地球化学图  
(图中地球化学急变带引自朱炳泉《地球化学省与地球化学急变带》一书)

[ 参考文献 ]

[ 1 ] 谢学锦. 勘查地球化学的现状与未来展望[ J ]. 地质论评, 1996, 42(4): 346~ 355.

[ 2 ] 谢学锦. 蛛丝马迹探宝藏——勘查地球化学发展的里程碑[ A ]. 陈建礼. 科学的丰碑——20 世纪重大科技成就纵览[ C ]. 济南: 山东科学技术出版社, 1998, 491~ 495.

[ 3 ] 谢学锦, 邵 跃, 王学求. 走向 21 世纪的矿产勘查地球化学[ M ]. 北京: 地质出版社, 1999, 256.

[ 4 ] 王学求, 谢学锦. 金的勘查地球化学理论与方法·战略与战术[ M ]. 济南: 山东科学技术出版社, 2000, 309.



[ 5] 谢学锦. 进入 21 世纪的勘查地球化学[ J]. 中国地质, 2001, 28 ( 4): 11~ 18.

[ 6] Beus A A, Grigorian S V . Geochemical exploration methods for mineral deposits[ M]. Applied Publishing Ltd. 1977.

[ 7] Butt C R M , Zeegers H. Regolith exploration geochemistry in tropical and subtropical terrains[ J]. Elsevier. 1992.

[ 8] Chao L G. Exploration geochemistry: expanding contributions to mineral resource development[ J]. Gubin A G, ed, Proc. Exploration ' 97, 1997: 3~ 8.

[ 9] Darnley A G. International geochemical mapping ——a review [ J]. J Geochem Explor, 1995, 55: 5~ 10.

[ 10] Freyssinet P. President message[ J]. Explore, 2002, 116: 4~ 5.

[ 11] Hawkes H E, Webb J S. Geochemistry in Mineral Exploration [ J]. Harper and Row , 1962, 415.

[ 12] Hawkes H E. The early days of exploration geochemistry [ J]. J Geochemical Exploration. 1976 ( 6) ( 1/2): 1~ 11.

[ 13] Sergeev Ye. A Geochemical method of prospecting for ore deposits[ M ]. 1941.

[ 14] Xie X, Wang X. Geochemical exploration for gold: a new approach to an old problem[ J]. J Geochemical Exploration. 1991 ( 40): 25~ 48.

[ 15] Zoback M L. Grand challenges in earth and environmental sciences; science, stewardship, and service for the 21st century [ J]. GSA today. 2001: 41~ 47.

[ 16] Fordyce, F Plant, J Klaver, G , et al. Geochemical mapping in Europe[ M]. Editor: Xie X, Proceedings of the 30th IGC, Geochemistry. Utrecht, Netherlands, Tokyo, 1997, 19, 111~ 125.

[ 17] Reimann C. Environmental geochemical atlas of the central Barents Region, NGU- GTK- CKE special publication[ M]. 2001.

[ 18] 朱炳泉, 张王伟, 胡耀国. 2002. 滇东北发现具工业价值的火山凝灰角砾岩层控型铜矿床[ J]. 地质通报, 2002, 21 ( 7): 450.

[ 19] 朱炳泉. 地球化学省与地球化学急变带[ M]. 科学出版社, 2001, 118.

EXPLORATION GEOCHEMISTRY: RETROSPECT AND PROSPECT

XIE Xue-jin

( Institute of Geophysical and Geochemical Exploration CA GS, Langfang 065000)

**Abstract:** Milestones marking the development of exploration geochemistry from 1940s to 1990s are described. Study of various types of **dispersion patterns** generated from ore deposits and tracking back along the dispersion pathways in different kind of surface materials in order to search for ore deposits are the basic principles and methodology established during its 60years development. The initiation of regional and national geochemical mapping activities, from the 1970s, especially the RGNR Project of China have accumulated tremendous amount of high quality element data covering millions of km<sup>2</sup>. More broad geochemical patterns other than the local **dispersion patterns** around ore deposits are found in nature during these mapping activities. They are the **distribution patterns** of elements formed during the original heterogeneity of earth formation and modified through the long span of earth evolution. This discovery will make a new breakthrough in the basic principles and methodology of exploration geochemistry and open up new fields of application in mineral potential assessment, mineral exploration and environment study.

**Key words** Exploration Geochemistry, dispersion pattern, distribution pattern, geochemical block

矿勘携手 互补双赢

北京金有地质勘查有限责任公司在京成立

由中国黄金总公司和有色金属矿产地质调查中心共同出资组建的北京金有地质勘查有限责任公司(以下简称金有地质公司)于9月28日正式成立。

金有地质公司董事长杨志刚日前在接受记者采访时说,中国黄金总公司拥有采选冶技术、矿山经营管理、融资筹资等优势,需要有新的、更多的黄金等金属矿产资源来开发;有色地调中心拥有探矿权、矿产勘查信息、技术、管理、筹资等优势,需要矿业开发的合作伙伴,需要将探矿优势转化为经济优势。强强联合,优势互补,必将产生“聚变”;矿业公司与地勘单位携手,必将促进我国商业地

质的发展。

金有地质公司总经理周仁照说,金有地质公司是按照现代企业制度要求建立的、具有一定实力的、符合矿业发展方向的新型勘探公司,注册资金壹千万元,公司的主要经营业务是黄金等金属矿产勘查,重点是矿权(探矿权和采矿权)经营,具体就是,收购或登记矿权、筹集资金、勘查探矿、开采或转让、回收资金,从而达到一个良性循环。金有地质公司真诚欢迎矿权拥有者,特别是广大的地勘单位,拿出自己的优质矿权,与金有地质公司共同勘查、共同开发,实现矿权价值,为我国的矿业发展做出贡献。