地球化学填图与地球化学勘查

谢学锦[1)], 刘大文[2)]

1) 中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所, 河北廊坊, 065000

2) 中国地质调查局发展研究中心, 北京, 100083

内容提要: 在中国与西方国家, 地球化学填图的目的与做法并不相同, 西方的地球化学填图是由研究机构开展的, 使用等离子焰光量计、X 射线荧光光谱仪等大型仪器进行多元素分析, 目的是取得多种元素在地球表层分布的基础性资料。地球化学勘查则由矿业公司主要分析少量成矿元素, 目的是为了找矿。而中国的地球化学填图计划却做出了巨大努力, 使地球化学填图取得的资料既有学术价值又对矿产勘查具有重大的实用意义。本文详细讨论了西方国家与中国地球化学填图与地球化学勘查的思路、方法与技术的演变, 并瞻望了地球化学填图在21世纪的巨大发展前景。

关键词: 地球化学填图; 地球化学勘查; 多元素分析

1 地学与空间分布信息图件

针对不同研究对象在不同尺度上的空间分布进行填图, 始终在许多地学分支, 如地理学、地质学、土壤学、水文学、海洋学、气象学等的发展历史中是最重要的支撑。自1815年W. Smith 利用地层信息的空间分布进行地质填图, 此后不同尺度, 不同形式的地质填图就成为地质学发展中最基本的需要。

但另一方面, 地球化学填图并未与 F. W. Clarke 和V. M. Goldschmidt 首创的现代地球化学

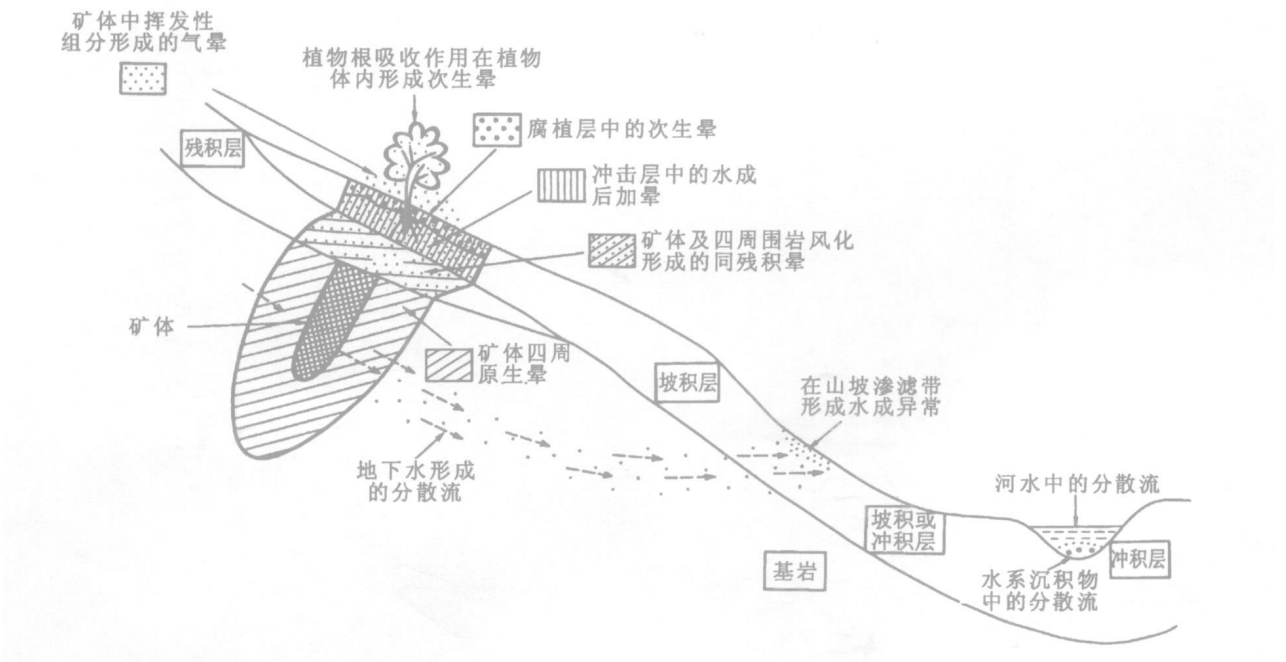


图1 建立在点源模型上的各种类型的分散晕和分散流(谢学锦, 1979)

Fig. 1 Various types of halos and trains dispersed from an orebody —— a point source

注: 本文为国家攀登计划"B85-34"和中国地质大调查项目"DK9902081"的成果。

收稿日期: 2006-06-20; 改回日期: 2006-09-16; 责任编辑: 章雨旭。

作者简介: 谢学锦, 中国科学院院士, 中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所名誉所长, 主要从事地球化学填图和勘查地球化学领域理论与方法技术的研究。Email: xuejing@public.bta.net.cn。

(c) 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

的兴起与发展有密切的联系。地球化学填图的发展主要应归功于从事矿产勘查的勘查地球化学家。

2 地球化学勘查与地球化学填图

在30 年代末至40 年代, 在北欧、俄罗斯与美国兴起了一种新的找矿技术。这种技术的理论依据是矿床在风化剥蚀过程中将成矿物质分散至周围的土壤、沉积物、水、甚至植物与空气之中, 形成各种类型的 "分散模式 "。采集这些地表物质, 并用半定量光谱方法(北欧及俄罗斯) 或比色方法(美国) , 分析其中成矿元素含量, 沿着成矿元素分散的途径追踪其来源 ——矿床。

由于成矿元素是从一个矿床 —— 一个点分散出来, 这种 "点源 "分散规模相当有限, 仅有数平方千米至数十平方千米。因而在一个找矿计划中必须密集采样。比如, 用 $1000\times100m^2$ 的采样格子, $500\times50m^2$, $100\times10m^2$, 或更密的格子。地球化学找矿在那一个时期, 在矿产勘查中只能成为一种辅助性方法。

在60 年代这种找矿技术已发展成为一个新的地学分支 —— 勘查地球化学。1962 年 H. E. Hawkes 与J. S. Webb 出版的经典专著 "矿产勘查的地球化学 "(Geochemistry in Mineral Exploration) 是这一发展的里程碑。在此书中, 对广泛流行的点源分散的思想与实际应用作了系统总结, 并上升为理论。表1 示Hawkes 与Webb 对各种类型分散模式的系统分类。图1 示从 "点源 "分散至四周环境中的各种分散模式的示意图。

但在Hawkes 与Webb 的书中并不仅仅总结了当时流行的思路与技术, 他们还是很有远见地看到这门科学的未来。在书中最后一章他们写道: "将元素空间分布来制图也将是研究地球的一种方法, 就像制作土壤图、岩石类型图, 构造图与变质作用图一样。"并且预测这类地球化学填图其意义将不亚于地质填图。

为实现这种新的思路, J. S. Webb 及其工作组从20 世纪60 年代开始, 就在赞比亚、塞拉利昂、马来亚、爱尔兰及英国, 以较稀的密度采集水系沉积物样品, 并对样品进行多元素的分析。将所得的结果制作出多种元素区域性分布的图件(Webb, Nichol and

表 1 地表分散模式的分类及主要特征

Table 1 Classification and general characteristics of the principal types of surficial dispersion patterns

成因分类		分散作用	主要搬运营力	介质	元素分散中的存在形式	分散模式的形状
同生模式	碎屑分散	就地风化		风化岩石 残积土 铁帽	耐风化的原生及次生矿物黏土矿物中的组分次生的含水氧化物	分散晕
		固体颗粒的移动由于:	重力	残积土 铁帽 坡积土		分散扇及分散晕
			冰	海成土		分散扇
				冰水沉积土		分散流
			水	片冲土		分散扇
				水系沉积物		分散流
				湖积物		分散扇
			风	风积物		分散扇
	水成分散	在溶液中移动	地下水	地下水	可溶盐,络合物及胶体	分散扇
			地表水	地表水		分散流
				沉淀物及蒸发物	沉淀的盐类	侧移模式
	生物分散	植物同化作用	植物	活植物组织	金属有机化合物	上邻及侧移模式
				有机残骸		
后生模式	水成分散	在溶液中移动后沉淀	地下水	碎屑层	吸留于黏土矿物, 含水氧化物及有机物质上的离子; 在含水氧化物与金属有机物上共沉淀的离子, 沉淀的盐类	
				渗滤带土壤		上邻模式; 分散扇
			地表水	水系沉积物		侧移模式
	生物分散	植物同化后的有机分解物重新分布	营养液; 土壤水	碎屑层		分散流
						上邻及侧移模式

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

Thornton, 1968)。

这类图件被认为对人类认识地球, 提供了新的有价值的基础性数据资料。但其应用方面则强调农业与地质方面的应用, 而不是矿产勘查。因为受到了当时流行的"点源分散"理论的限制, 认为用这样稀的采样密度, 捕捉不到从矿床物质分散发出的信息。

Webb 等在1968年对他们在地球化学填图实验中圈出的区域性异常作了这样的评述: "与矿化有关的局部强异常不同, 这些范围更宽阔的模式, 似乎是一些较弱的、更均匀的变化, 构成一些'地球化学起伏'反映的是各种地质建造的特征……"(Webb, Nichol and Thornton, 1968)。

从Webb 的评述中可看到, 早期地球化学填图填出的是区域性的"地球化学起伏", 反映的是地质建造。要发现与矿化有关的局部强异常, 仍须在地质或地球物理成果建议的较小范围内密集采样。但在60 年代后期, 这种密集采样的限制被打破, 并不是由于理论或概念上的突破, 而是一些矿业公司从实际出发。他们为了降低勘查成本, 同时希望有更多机会找到新矿床, 不得不扩大其工作范围, 降低其采样密度。这种在区域尺度内进行地球化学勘查的做法, 虽与点源分散的理论相违背, 但在实践中却取得许多找矿成效(Bradshaw, et al., 1972)。

3　国际地球化学填图 1973 ～ 1988

1973 年J. S. Webb 等出版了第一份地球化学图集"北爱尔兰地球化学实验图集"(Provisional Geochemical Atlas of Northern Ireland)(Webb et al., 1973)。从1973 到1988 年国际上完成了四十余项区域性及全国性地球化学填图计划。但由于分析的元素很不一致, 对痕量、超痕量元素的分析检出限过高, 以及取得的数据没有参考标准, 无法全球对比, 地球化学填图所提供的基础资料并未受到国际地质界的高度重视。而这些资料对矿产勘查也未能发挥重要作用。

表2 是40 个国家地球化学填图计划分析的元素的统计资料(Xie, 1995)。从表上可看到像最普通的成矿元素Cu、Pb、Zn。亦尚有10 至5 项计划未给予分析。而像Sn、W、Ag、U、Ni、Mn、Co 这样重要的成矿元素有1/3 至1/2 的填图项目未给以分析。至于Au、Hg 及稀有、稀土元素则更少有项目涉及。

表3 是一些著名的地球化学填图项目对地壳丰度< 3×10^{-6} 的痕量元素的分析检出限。这些痕量元素都是重要的成矿元素。但在这些国际知名的地球化学填图项目中, 常常未给以分析或分析检出限高于地壳丰度, 因而难以提供对成矿有用的线索。

表 2　38 项各国地球化学填图计划中分析元素的统计

Table 2　Elements determined in 38 geochemical mapping projects

30 个以上填图计划都分析的元素	Zn(35), Pb(33), Cu(32), Ni(31), Mn(31), Co(30)
20～29 个填图计划分析的元素	Mo(25), As(23), Fe(23), Cr(22)
10～19 个填图计划分析的元素	Sn(19), Ag(17), V(17), W(17), Ba(16), Ti(16), Sr(15), U(15), Zr(13), Li(12), Nb(12), Bi(11), Be(11), Mg(11), Sc(11), Ca(10), K(10)
5～9 个填图计划分析的元素	La(9), Cd(9), Sb(8), Th(8), Al(7), Au(7), B(6), Hg(6), Na(5), P(5), Rb(5), Si(5)
1～4 个填图计划分析的元素	Ga(4), Cs(2), Dy(2), Eu(2), F(2), Hf(2), Lu(2), S(2), Ta(2), Cl(1), Se(1), Tb(1), Yb(1)

注: 括号内数字是填图计划数。

4　中国的全国地球化学填图计划

中国的全国地球化学填图计划始于1979 年, 称为"区域化探全国扫面计划"(RGNR 计划)。与国际上其他地球化学填图计划不同之处是, 中国的地球化学填图从一开始就把为矿产勘查提供靶区和远景区作为它的目标和任务。同时, 又特别强调要取得可以全球对比的高质量数据, 为地学理论研究提供基础性资料。

4.1　野外工作方法的研究

由于中国的地理景观复杂, 须研究不同的野外工作方法。故在项目开始时首先将全国划分成不同的地理景观区(图版Ⅰ-1)。

对于东部的广大山区与低山丘陵区, 通过对国外经验的收集, 及在江西、浙江与安徽等地的试点研究, 使水系沉积物测量方法标准化, 并推广用于中国东部各省, 取得很大成功(谢学锦, 1979)。

在干旱与半干旱地区, 主要采集滞留物(以铁豆石为主的> 2mm 的粗颗粒)(任天祥等, 1984, 1989)。在岩溶地区主要采集低洼地区的土壤及塘底沉积物(黄成稚, 1989)。在高寒地区用甚低密度采样。采集大河口沉积物及渗湿土样品(任天祥等, 1983)。

这些研究已经在中国西北边远各种特殊景观区的地球化学填图工作中发挥了重要作用。但必须指出, 近年来, 地球气及活动态金属新概念、多营力接

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表 3 某些过去及正进行的地球化学填图计划中地壳丰度< 3×10^{-6}元素的检出限(Xie, 1990)

Table 3 Detection limits for elements with crustal abundance less than 3×10^{-6}. Data with "( )" indicate that the detection limits are higher than the crustal abundance those elements

	元素	地壳丰度	ICP建议的分析检出限	N Sumata填图中的检出限	英国Wolfson图集中的检出限	英国Shetland填图计划中的检出限	中国区域化探扫面计划中的检出限	加拿大国家填图计划中的检出限	Alaska填图计划中的检出限	原西德地球化学图中的检出限	Nonkalo填图计划中的检出限	芬兰地球化学图中的检出限	英国南苏格兰地球化学填图中的检出限
ICP29要求首批分析的元素	Au	0.001	0.0002	–	–	–	0.001	–	(0.05)	–	–	0.0003	–
	Bi	0.0085	0.05～0.1	–	–	–	0.1	–	(5)	0.3	–	–	(4)
	Se	0.05	0.02	–	–	–	–	–	(5)	–	–	–	–
	Ag	0.075	0.02	(0.5)	–	–	0.02	(0.1)	(5)	–	(0.8)	(2.0)	(0.7)
	Hg	0.085	0.01～0.05	–	–	–	0.05	(10)	–	–	(0.8)	–	–
	Cd	0.15	0.05～0.1	–	(1.0)	–	0.1	–	–	–	–	(0.8)	–
	Sb	0.2	0.04	–	–	–	0.2	–	1	–	–	0.1	–
	Mo	1.2	0.5	0.4	0.5	1.0	0.5	1	–	–	1	1.0	–
	W	1.25	0.2～0.5	1.0	–	–	1.0	2	(15)	(2)	–	2.0	–
	As	1.8	0.5～1.0	1.0	(4.0)	–	1.0	–	5	–	–	0.3	–
	Sn	2.3	1～2	(5.0)	(10)	–	1.0	–	(10)	–	–	(100)	–
	U	2.7	0.05	–	–	–	1	–	0.01	–	0.1	0.3	–
	Be	3.0	0.5	–	–	–	0.5	–	–	–	–	–	0.3
	Ta	–	–	–	–	–	–	–	1	–	–	–	–

注: 括号内数字表示元素检出限超出了地壳丰度。

力运移模型以及深穿透地球化学方法的发展(Cameron, 1998; Xie et al., 1998; Wang et al., 1998; 谢学锦, 王学求, 2003)将使中国边远地区的地球化学填图与地球化学勘查进入一个新的阶段。

4.2 多元素分析系统的研制

地球化学填图要在实际应用与理论研究上都能发挥重大作用, 分析问题是必须解决的瓶颈问题。这一点西方及俄罗斯的学者似乎都无深刻认识。而我们则一直在国内外会议及国际杂志上反复强调(谢学锦, 1977, 1979a, 1979b; Xie, 1990, 1995; Xie et al., 1981, 1997; Xie and Ren, 1991; Xie & Cheng, 1997)。

由于各国地球化学填图在分析问题上普遍存在前述的各种缺陷。故我们在发展研制多元素分析系统时就及时提出以下的指导原则: ① 所有痕量及次痕量元素的分析检出限必须降至相应的地壳丰度以下; ② 分析数据必须作到在全球各实验室间可以对比; ③ 要用一种具多元素分析能力的方法作主体, 以便扫掉绝大部分宏量, 次量, 及某些痕量元素; ④ 地壳丰度极低的痕量, 次痕量元素必须用合适的方法个别击破; ⑤ 要使用一级标样及二级标样, 制定严格的分析质量监控方案以降低批次间与实验室间的分析偏倚; ⑥ 在项目启动前就要研制一级及二级标样。以便优选所用的分析方法及实验室, 以及制定日常分析的质量监控方案(图2)。

图2中, X 轴为平均对数偏差:

$$\overline{\Delta \lg X} = \frac{\sum (\lg X_i - \lg X_{iR})}{n}$$

其中 X_i 为某实验室分析 i 标样取得的数值, X_{iR}为 i 标样之标准值。从图上可看到那些最贴近 Y 轴的方法与实验室是最佳的选择。

地矿系统全国5个大区中心实验室及各省中心实验室数以百计的分析家, 根据上述指导原则, 共同努力, 历时6～7年, 在1985年以后, 才使39种元素的多元素分析方案, 日趋完善(表4)。

表 4 全国区域化探扫面计划中采用的多元素分析系统

Table 4 Multi- element multi- method analytical system used in RGNR project

分析方法	测定元素
X射线光谱分析方法	Al, Ba, Ca, Co, Cr, Cu, Fe, K, La, Mg, Mn, Na, Nb, Ni, P, Pb, Si, Sr, Th, Ti, V, Y, Zn, Zr
原子荧光光谱分析方法 (AFS)	As, Bi, Hg, Sb
原子吸收光谱分析方法 (AAS)	Ag, Cd, Li
原子发射分析方法 (AES)	(Ag), B, Be, Sn
极谱法 (P)	Mo, W
选择性离子电极 (SEI)	F
比色法 (LF)	U
预富集的原子吸收(AAS)或石墨炉原子吸收(GFAAS)分析方法	Au

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

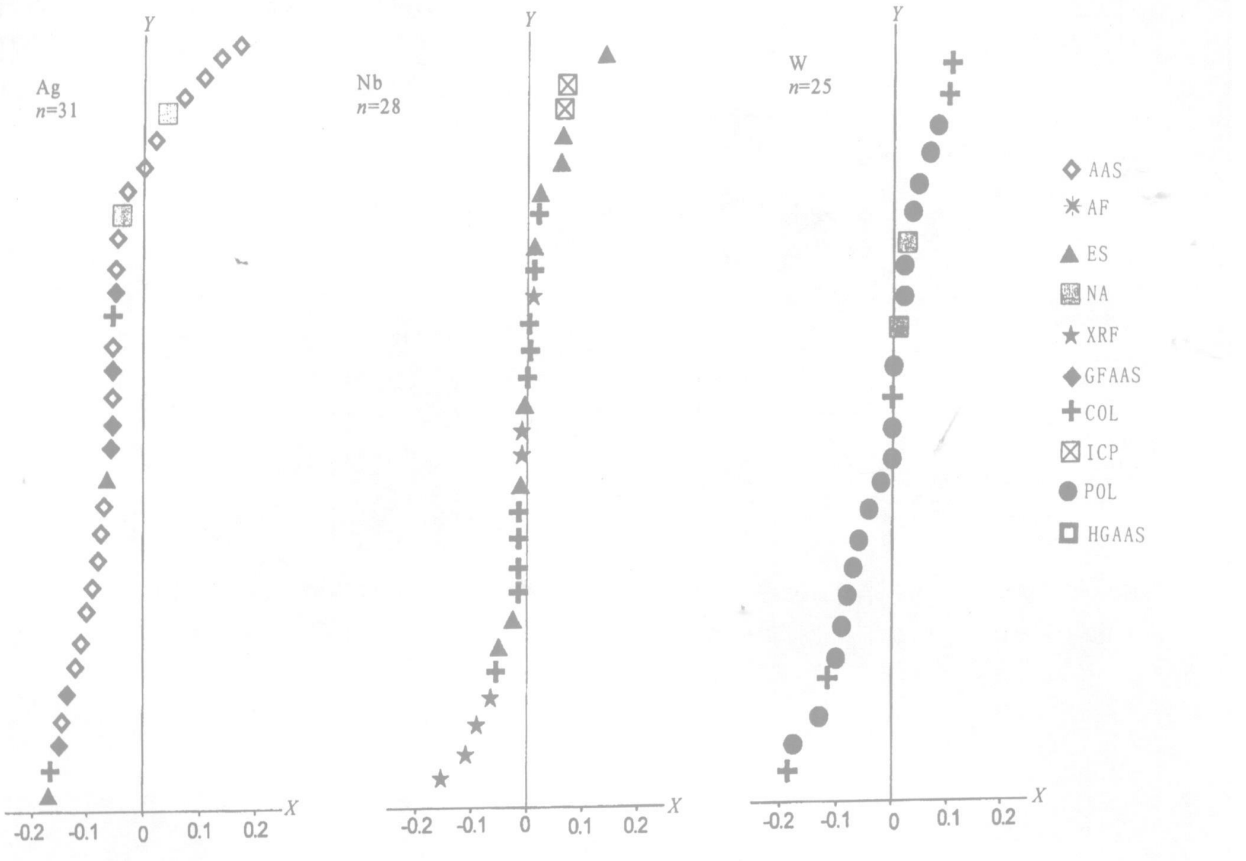


图2　不同实验室对8 个标准样中Ag、Nb、W 三个元素分析的平均对数偏差[Y 为平均对数偏差($\log C$)]

Fig. 2　S curves of average ($\log X$ for Ag, Nb and W derived from 8 GSD samples by different methods and different labs

4.3　RGNR 计划的主要成果

RGNR 计划已被国际承认是最成功的国家性地球化学填图计划。不仅因为它所覆盖的面积与取得的找矿成效都无可比拟,而且因为它的先进的思路和远大的眼光,要为地球化学填图取得对资源勘查利用,环境评估及基础理论研究都具重大意义的资料。

1978 年提出这项计划时就作出预测[①]: "它可以给出数以万计用标准化方法圈定的,可在全国范围内进行对比的异常。这样就有可能更有效地筛选出数百至数千个最有远景的异常,为找到数十至数百个大、中型矿床提供线索。给地质找矿打开新局面"这种预测当时在一些人看来是难以置信的。但10 年后已开始变成现实,20 余年后再也无人质疑。到2000 年已完成627 万平方千米的填图,取得了数千万 39 种元素的高质量数据。圈出了数万个综合异常。从中初步筛选出数千个异常进行查证。截至1995 年已发现工业矿床308 处。2000 年至少超过400 处。

当时还预测对取得的海量高质量数据进行输入研究"……有助于今后地质工作者去检验已有的观点和理论,进而提出新的观点和理论"(谢学锦,1978)。这项预测在这些年尚得不到决策层与地质学家们足够的共识与支持,但仍在艰难地进行。例如我们这些年来系统全面研究取得的数千万的地球化学数据后,初步发现自然界存在更为宽阔的地球化学模式,从区域性异常到地球化学省,地球化学巨省到地球化学域(表5)。这些宽阔的地球化学模式是某些元素高含量的岩石块体在表生物质中的显示(Xie,1995; Xie et al., 2004)。这些岩石块体可称

Table 5　套合的地球化学模式谱系与地球化学块体

Table 5　The hierarchy of nested geochemical patterns and geochemical blocks

面积 (km^2)	地球化学模式	
< 100	局部异常	
100～1, 000	区域异常	
1, 000～10, 000	地球化学省	地球化学块体的地表显示
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	

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

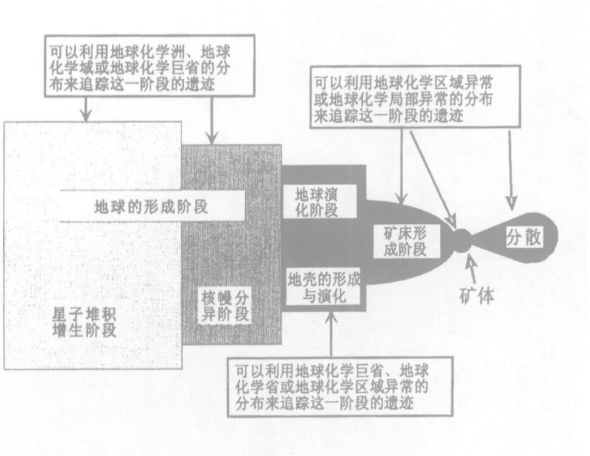


图3 地球化学块体与地球演化各阶段的对应关系

Fig. 3 Geochemical blocks and earth evolution

为地球化学块体(Geochemical blocks)。这是地球太初不均匀性在其后多期地质演化过程中各种元素不断分布与重新分布的总效应(图3)。巨大的地球化学块体将可能为巨型矿生成提供所需的巨大金属供应量。因此地球化学块体理论的提出,将会改变中国以及全世界今后的找矿战略,为全球矿产资源潜力的评估提供有效手段,并为成矿学研究提供新思路。

图4示全国金的地球化学块体在地表的显示。这是处理了RGNR的海量金数据而制成的(当然在边远地区由于工作方法不尽完善,会有很多遗漏)。从图上可看到小型金矿(< 50t)因不需成矿物质的巨量供应,从而在块体内外广泛分布。而大型金矿则皆分布于块体内或其边缘。这一现象在表6的统计资料中可以更清楚地看到。

5 地球化学填图的国际合作

1988年联合国教科文组织的地质对比计划(IGCP)批准了一个国际合作项目‘国际地球化学填

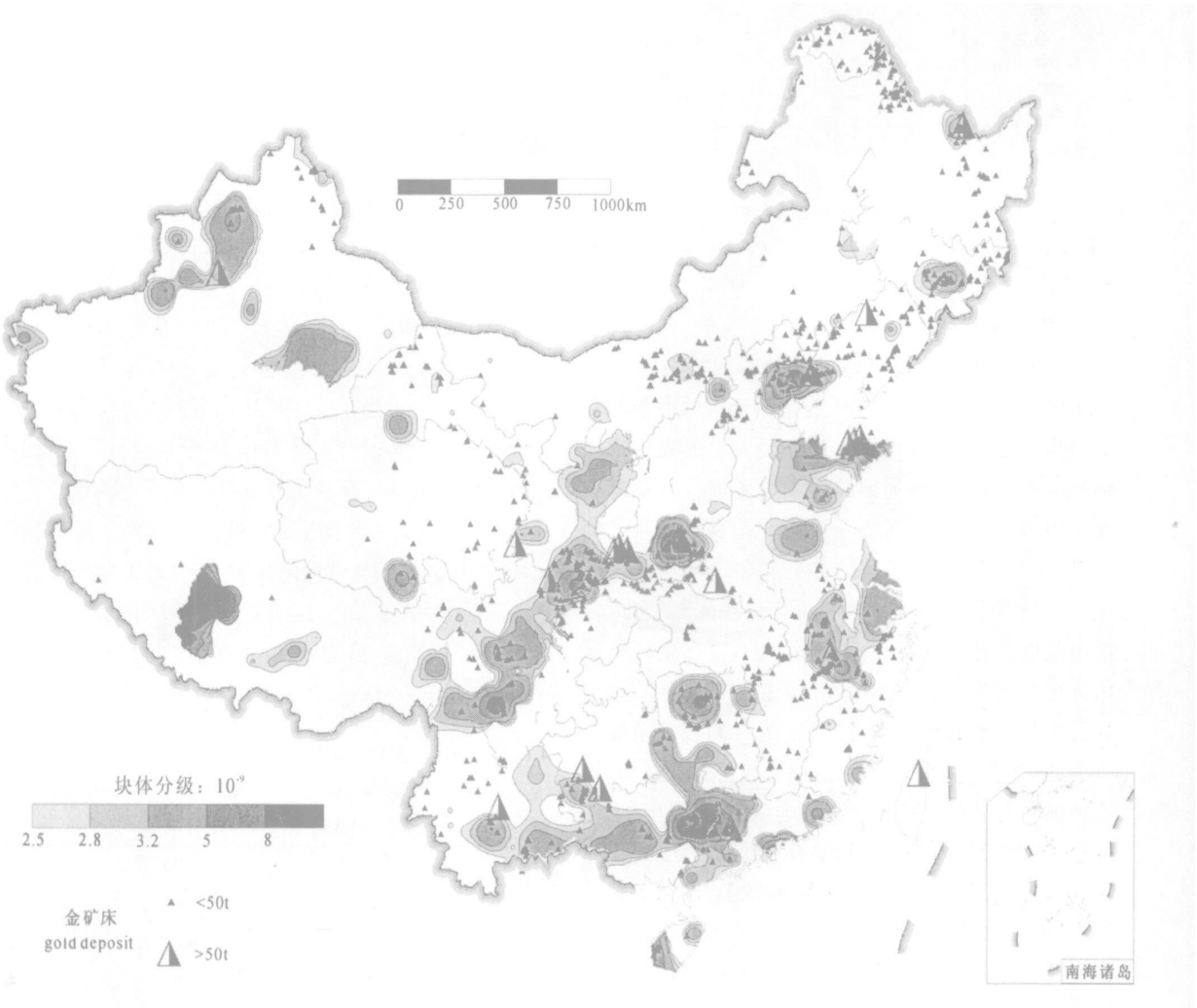


图4 全国金的地球化学块体与金矿床分布

Fig. 4 Distribution of gold deposits and geochemical blocks in China

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

图计划”,编号为IGCP259。这一计划的目的是解决(1)地球化学填图方法的标准化,(2)以5000 个组合样覆盖全球,制作71 种元素全球地球化学图的可行性。

表 6　地球化学块体与已知金矿床的关系

Table 6　Correlation of the reserves of gold deposits with geochemical blocks

金矿床储量(t)	矿床个数	在金地球化学块体内或邻近的金矿床个数	所占的比率(%)
< 5	997	524	52.6
5～10	243	138	56.8
20～50	64	49	76.6
50～100	13	11	84.6
> 100	7	7	100

这一项目的研究成果刊登于教科文组织地学专刊第19 号中(Darnley et al., 1995)。在此专刊中对地球化学填图全球标准化的最重要措施和建议为①必须分析71 种元素(图 5),② 痕量及次痕量元素的分析检出限必须低于地壳丰度,③ 要使用中国与加拿大的标准样。以便使取得的数据可以全球对比。在研究全球极低密度地球化学填图可行性方面,项目决定在全球采集组合样的单位格子为 160×160km^2。图6 示该计划全球地球化学网格在中国的覆盖情况。但是采集何种类型的样品使能近似的显示160×160km^2 采样格子内基岩或地表物质中元素含量的平均值,IGCP259 项目指导委员会的成员一直争论不休。中国为了给这一争论找出答案,启动了“环境地球化学监控网络与动态地球化学图”(EGMON)研究项目。这一研究项目表明,泛滥平原沉积物可能是今后全球极低密度地球化学填图最理想的采样介质。图版Ⅱ-1、2 示以两类数据为依据制作的Cu 的全国地球化学图。图版Ⅱ-1 依据全国数以百万计的水系沉积物样品Cu 分析数据。图版Ⅱ-2 依据的是500 余个泛滥平原沉积物样品中Cu 分析数据。以两类数据在每个160×160km^2 格子内的平均值来作图。在两图上Cu 的分布趋势极为相似。

EGMON 计划不仅分析了IGCP259/360 建议第一批分析的51 种元素,还分析了Pt 及Pd。从而在中国西南地区圈出了过去完全不为人知的巨型Pt 及Pd 的地球化学域(图版Ⅱ-3)。其结果使国内外矿业公司兴起了在西南地区找Pt 及Pd 的热潮。

由于EGMON 计划不仅采集表层的泛滥平原沉积物,还采集深1m^2 处的样品,因而可以用来监控多年来环境质量的变化。图版Ⅱ-4 示浅层Hg(Hg1)与深层Hg(Hg2)的比值(Hg1/Hg2)在全国的分布。从图上可看到中国大规模的工业化对中国东部造成的污染情况。

6　中国作法在国外的推广应用

中国在地球化学填图上的做法与国外不同之处

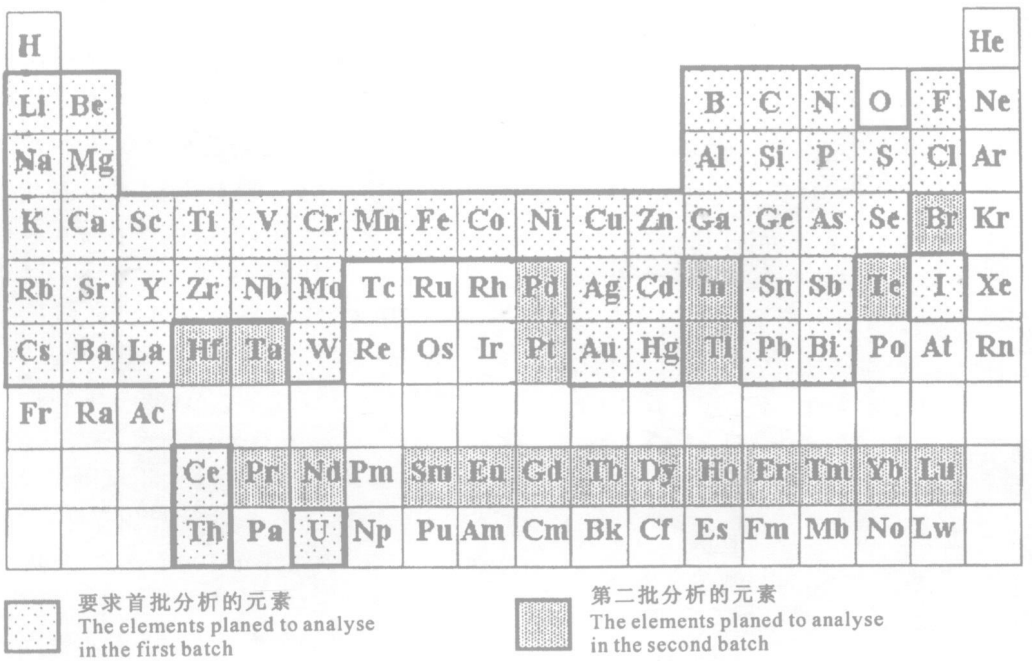


图5　IGCP259 推荐在地球化学填图中应分析的71 种元素

Fig. 5　IGCP259 recommendation for elements to be analyzed in geochemical mapping

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

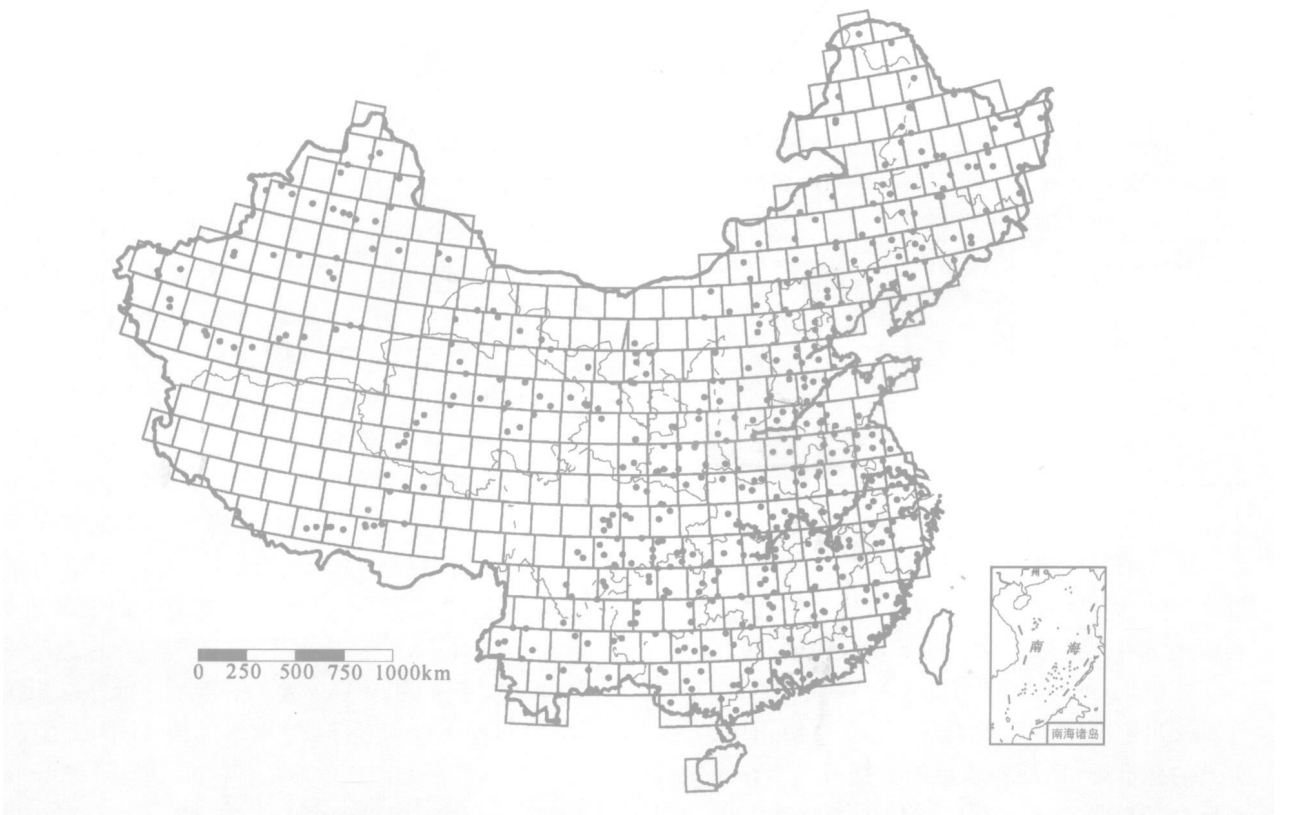


图 6 IGCP360 计划部署在中国的采样格子和中国EGMON 计划采样点位

Fig. 6 The global sampling grids of IGCP360 Project in China and sampling sites of EGMON Project

在于将填图与勘查融为一体, 使各种尺度的填图都不仅有学术价值, 而且可为矿产勘查提供重要线索。受到EGMON 计划取得的效果的鼓舞, 我们开始去说服许多发展中国家去试用低密度的地球化学填图, 解决找矿问题。

图版Ⅰ-2 是巴西Parana 州的地质图。过去该州的矿产勘查工作集中于东部, 因为西部为大片溢流玄武岩所覆盖。称为Serra Graral 建造。

巴西地质学家应我们的要求将Parana 州按80×80km^2 的格子, 将每个格子中数以千计的水系沉积物样品组合成43 个组合样(图7) , 送中国物化探所实验室分析71 种元素含量。

分析结果在Serra Garal 建造中圈出了巨型的北东向Pt、Pd、Cu、Cr、Ni 和Co 多元素地球化学巨省(图版Ⅲ-1)。据巴西O. Licht 博士报告, 其后在此区的地质工作已发现多处基性, 超基性岩体。看来此区极需作进一步的加密地球化学勘查。

类似的推广工作正在哥伦比亚与哈萨克斯坦进行。另外许多非洲, 南美洲及亚洲国家正通过国土资源部地质调查局, 洽谈如何将中国的地球化学填图/勘查应用的经验与方法引入本国。

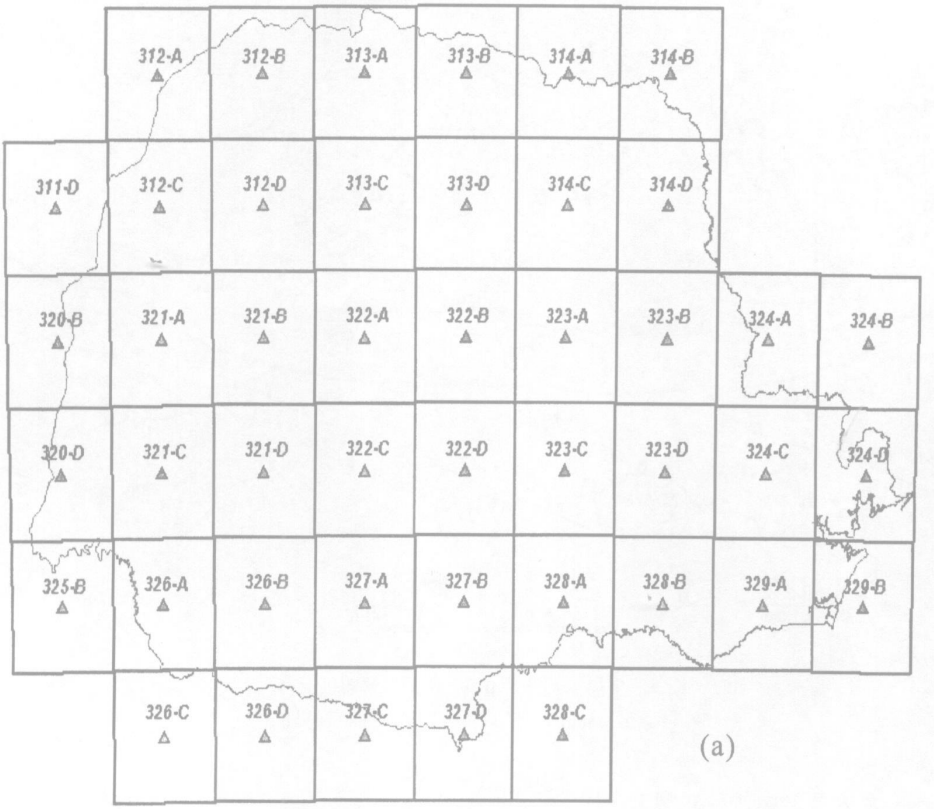
7 深穿透地球化学填图

在运积物覆盖区找矿需要新的地球化学方法。这些方法可以穿透厚层冲积物, 风积物, 冰积物或成矿后生成的火山岩与沉积岩, 取得深部的矿化信息。这类方法发展主要于90 年代。其中包括地气法(GE-OGAS, Malmqvist and Kristiansson, 1984) , 化学离子法(CHIM, Antropova et al., 1992) , 酶提取法(Clark et al., 1990) , 活动金属离子法(MMI, Mann, 1995) , 地球气与活动金属法(NAMEG and MOMEO, Xie, 1995, Wang and Xie, 1996) 。

国外发展的各种深穿透方法主要用于详查阶段。中国发展的深穿透方法不仅用于详查, 而且用于填图。在近10 年来, 中国已用深穿透方法覆盖了约80 万平方千米。用每100 至800 平方千米采一个组合样的密度采样, 圈出数千至数万平方千米的远景地区之后, 再加密采样以逐步缩小靶区。

图8 示在东天山用深穿透地球化学填图圈出的U 异常与Mo 异常。用稀密度填图与逐步缩小靶区

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net



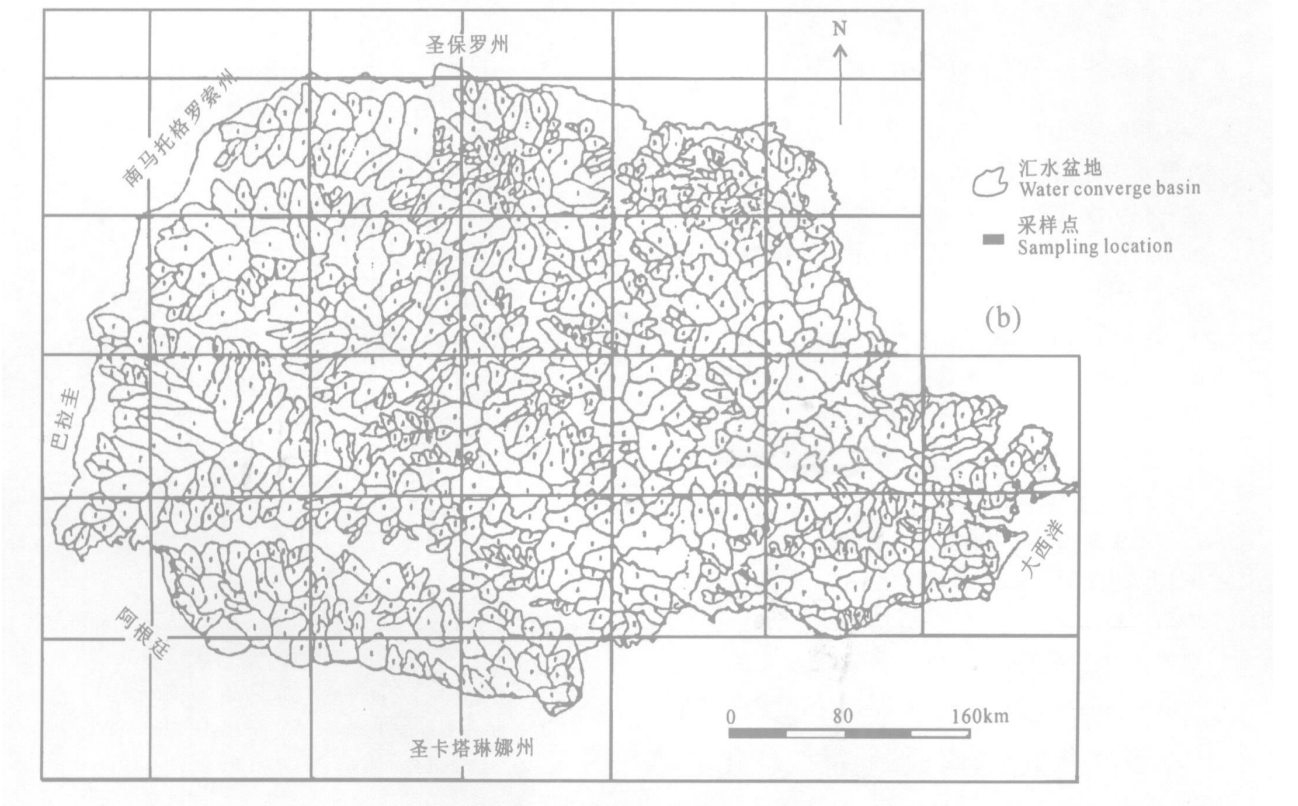


图7　在巴西 Parana 州按照中国采样要求部署的采样格子和采样方法

Fig. 7　Composite samples in each 80×80 km cell prepared from stream sediment samples

(a) 全球地球化学参考网络在Parana 州的分布情况; (b) Parana 州计划中已采样品的分布图

(a) Global Geochemical Reference Network sub-cells in the State of Parana; (b) sampling in every hydrographic basins

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

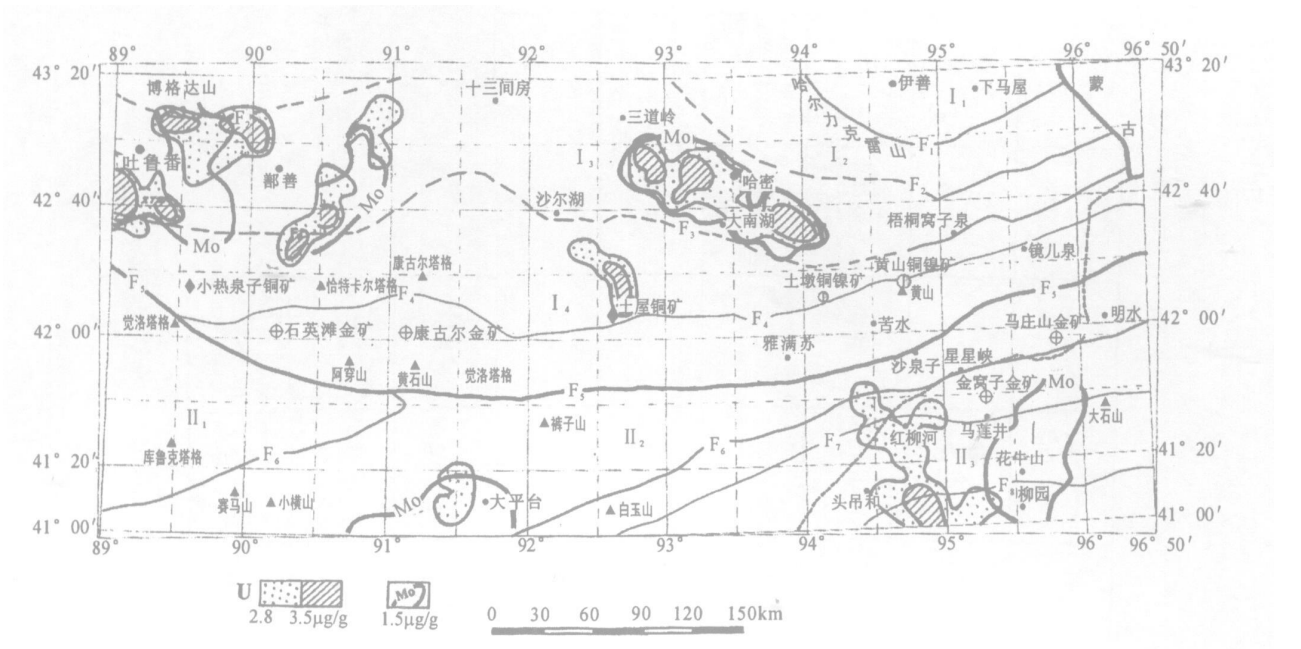


图8 中国新疆东天山U 地球化学图的分布

Fig. 8 Geochemical map of Uranium in the eastern Tianshan Mts.

的方法已发现一个大型的隐伏砂岩型U 矿(王学求等, 2002)。

8 76 种元素的地球化学填图

1999 年提出76 种元素的地球化学填图计划, 并开始先在川渝滇黔桂5 省、市、自治区进行试点。这一在川渝滇黔桂5 省、市、自治区的子项目旨在研制76 种元素的分析系统, 并利用川渝滇黔桂5 省、市、自治区 RGNR 计划在样品库存储的样品, 按每个1∶5 万图幅组成1 个组合样进行分析(图9), 并制作76 种元素川渝滇黔桂5 省、市、自治区的地球化学图及其他图件。76 种元素除包括IGCP259/360 建议分析的71 种元素外, 还加入了铂族的其他四个元素Os、Ru、Ir、Rh 及Re。

图版III-2～5 和图版IV-1～6 示Pt、Pd、Os、Ru、Ir、Rh、Cl、I、Hf 及Cs 的地球化学图。尽管地球化学填图已有30 余年发展史, 而且全世界已有近60 项填图计划已完成或正在进行, 但还很少看到这些元素以及其他许多稀有元素在地球表层的分布情况。



图9 每个1∶5 万格子1 个组合样在川渝滇黔桂5 省、市、自治区之分布

Fig. 9 Locations of composite samples in Sichuan, Chongqing, Yunnan, Guizhou and Guangxi, 76 GEM Project

9 多目标生态、农业、环境地球化学填图

RGNR 计划的主要目标是圈出局部, 区域以及更宽阔的与矿化有关的地球化学异常。水系沉积物采样已覆盖了全中国的山区及低山丘陵区。但大片冲积平原尚未触及。一些特殊景观区也还有待更深入的调查。2002 年由国土资源部地调局开展的多目标生态、农业、环境地球化学填图工作, 主要在几个

(c)1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

大河流域内的冲积平原地区, 通过一系列项目, 采集各种地表介质(岩石, 土壤, 沉积物, 水, 农作物) 来研究整个生态地球化学系统, 以便解决各种资源与环境的重大问题。这项巨大工程由于中国的近30 年使地球化学填图与矿产勘查应用融为一体的努力, 解决了填图中的许多技术难题, 打下了雄厚的基础, 故, 一开始就表现得气势澎湃, 游刃有余。

10　结束语

中国及其他国家 30 余年在地球化学填图与地球化学勘查中取得的经验, 使我们瞻望未来, 提出下列的观点:

(1) 资源最终是由元素与同位素构成的。许多环境问题都与元素及同位素的分布与行径有关。元素与同位素是地学中的最基本单元, 相当于生命科学中的基因。

(2) 过去 30 年, 地球化学填图一直以空前的规模和越来越先进的技术向前发展。从区域到全国, 更到全球, 从分析少量元素到分析周期表中几乎所有元素, 从研究少数介质(岩石、土壤或沉积物) 中元素的分布到研究整个生态系统或整个地球表层系统(岩石、土壤、沉积物、水、空气、植物、动物、人类器官) 中元素的分布。

(3) 各种地学图件是地学历史发展的最基础的支撑。制作及研究各种 "地基因"(Geogene) 亦即元素地球化学图件, 也将是应用地球化学解决各种资源与环境重大课题的最基本的支撑。

"地球化学图是地质学领域内为了人类社会要作的最迫切和最重要的工作。"

—— L. K. Kauranne (引自 Darnley et al., 1995)

"制作和研究地球化学图, 最终将证明比地质学中最有创新的板块构造研究更为重要。"

—— J. F. Potter (引自 Darnley et al., 1995)

注　释

① 谢学锦. 1978. 区域化探全国扫面规划. 物化探研究报导(内部资料), 第3 期.

参 考 文 献 / References

任天祥等. 1983. 高寒山区表生作用地球化学特征及区域化探方法的初步研究. 地质评论, 29(5): 428～436.

王学求, 迟清华, 孙宏伟. 2001. 荒漠戈壁区超低密度地球化学调查与评价—— 以东天山为例. 新疆地质, 19(3): 200～205.

谢学锦, 孙焕振, 任天祥. 1986. 区域化探全国扫面计划. 见: 第三届勘查地球化学学术讨论会论文选编. 北京: 冶金工业出版社, 1～6.

谢学锦, 王学求. 2003. 深穿透地球化学新进展. 地学前缘, 10(1): 1～14.

谢学锦. 1977. 当前区域化探若干问题的探讨. 物探与化探, 2: 1～10.

谢学锦. 1979a. 区域化探. 北京: 地质出版社, 1～192.

谢学锦. 1979b. 区域化探全国扫面各种方法的讨论. 物探与化探, 1: 18～26.

谢学锦. 2003. 全国地球化学填图. 中国地质, 30(1): 1～9.

Antropova L V, Goldberg I S, Voroshilov N A and Ryss Yu S. 1992. New methods of regional exploration for blind mineralization: application in the USSR. J. Geochem. Explor., 43: 157～166.

Bradshaw P M D, Clew D R and Walker J L. 1972. Exploration Geochemistry. Rexdale, Ont.: Barringer Research Ltd., 1～49.

Cameron E M. 1998. Deep-penetrating Geochemistry. Camiro-Exploartion Division, 1～117.

Cheng Hangxin, Shen Xiachu, Yan Guangsheng. 1997. Wide-spaced floodplain sediment sampling covering the whole of China: pilot survey for international geochemical mapping. In: Xie Xuejing, ed. Proceeding of 30th International Geological Congress —— Geochemistry. International Science Publishers, 89～109.

Clark J R, Macier A L et al. 1990. Enzyme leaching of surficial geochemical samples for defecting hydromorphic trace-element anomalies associated with precious-metal mineralized bedrock buried beneath glacial overburden in northern Minnesota. In: GOLD'90, 189～207.

Darnley A G, Bjorklund A, Bolviken B, Gustavsson N, Koval P V, Plant J A, Steenfelt A, Tauchid M, Xie Xuejing. 1995. A Global Geochemical Database for Environmental and Resource Management Recommendations for International Geochemcial Mapping. Final Report of IGCP-Project 259. Ottawa: Love Printing Service Ltd.; Paris, France: UNESCO Publishing.

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

Hawkes H E, Webb J S. 1962. Geochemistry in Mineral Exploration. New York: Harper & Row.

Huang Chengzhi. 1989. Regional geochemical exploration in karst region —— a preliminary study. In: Xie Xuejing and Jenness S E, ed. Geochemical Exploration in China. Special issue, J. Geochem. Explor., 33 (1～3): 61～72.

Li Qing, et al. 1989. Geochemical exploration in the semiarid steppe terrain of eastern Inner Mongolia —— a case history. In: Xie Xuejing and Jenness S E, ed. Geochemical Exploration in China. Special issue, J. Geochem. Explor., 33 (1～3), 27～46.

Malmqvist L and Kristiansson K. 1984. Experimental evidence for an ascending microflow of geogas in the ground. Earth and Planetary Science Letters, 70: 407～416.

Mann A W. 1995. Partial extraction and mobile metal ions. 17th IGES, Abstr., 31～34.

Ren Tianxiang, Zhao Yun, Zhang Hua and Yang Shaoping. 1989. Regional Geochemical Surveys in arid and semi-arid regions in the middle and western part of Inner Mongolia. Journal of Geochemical Exploration, 33: 11～26.

Wang Xueqiu and Xie Xuejing. 1996. Use of NAMEG and MOMEO methods in the search for concealed deposits. In: SME'96, Pheonix, America.

Webb J S, Nichol I and Thornton I. 1968. The broadening scope of

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

regional geochemical reconnaissance: 23rd IGR Rept. Vol. 6, 131～147.

Webb J S, Lowenstein P L, Howwarth R J, Nichol I and Foster R. 1973. Sampling, analytical and data processing techniques (for Provisional geochemical atlas of Northern Ireland): AGRG Tech Comm 61.

Xie Xuejing, Sun Huanzhen and Li Shanfang. 1981. Geochemical exploration in China. J. Geochem. Explor., 15: 489～506.

Xie Xuejing and Zheng Kangle. 1983. Recent advances in geochemical exploration in China. Journal of Geochemical Exploration, 33: 428～444.

Xie Xuejing, Yan Mingcai, Li Liangzhong and Shen Huijun. 1985. Geochemical Reference Samples, Drainage Sediment GSD 1～8 from China. Geostandard Newsletter, V. LX, No. 1, 83～159.

Xie Xuejing, Yan Mingcai, Li Lianzhong and Shen Huijun. 1989. Geochemical standard reference samples GSD9～12, GSS1～8 and GSR1～6. Geostandard Newsletter, 13: 83～179.

Xie Xuejing. 1990. Some problems, strategical and tactical in international geochemical mapping. Journal of Geochemical Exploration, 39: 15～33.

Xie Xuejing and Ren Tianxiang. 1991. A decade of regional geochemistry in China—— the National Reconnaissance Project. Trans. IMM, 100: B57～B65.

Xie Xuejing and Yin Bingchuan. 1993. Geochemical patterns from local to global. J. Geochem. Explor., 47: 109～129.

Xie Xuejing. 1995. Analytical requirements in international geochemical mapping. Analyst, 120: 1497～1504.

Xie Xuejing and Cheng Hangxin. 1997a. The suitability of floodplain sediment as global sampling medium: evidence from China. Journal of Geochemical Exploration, 58: 51～62.

Xie Xuejing, Mu Xuzhan and Ren Tianxiang. 1997b. Geochemical Mapping in China. J. Geochem. Explor., 60 (1): 99～113.

Xie Xuejing, Liu Dawen, Xiang Yunchuan, Yan Guangsheng and Lian Changyun. 2004. Geochemical blocks for predicting large ore deposits —— concept and methodology. J. Geochem. Explor., 84: 77～91.

图 版 说 明

图 版 Ⅰ

1. 中国景观分区图。
2. 巴西Parana 州地质图。

图 版 Ⅱ

1～2. RGNR(1) 与EGMON (2) 计划中全国Cu 地球化学分布的对比。
3. 中国铂地球化学图。
4. 中国表层汞与深层汞含量比值图。

图 版 Ⅲ

1. 巴西Parana 州的Pt 地球化学分布图, 图中Pt 含量的单位均为ng/g。
2. 中国川渝滇黔桂5 省、市、自治区Pt 的地球化学分布图。
3. 中国川渝滇黔桂5 省、市、自治区Pd 的地球化学分布图。
4. 中国川渝滇黔桂5 省、市、自治区Os 的地球化学分布图。
5. 中国川渝滇黔桂5 省、市、自治区Ru 的地球化学分布图。

图 版 Ⅳ

1. 中国川渝滇黔桂5 省、市、自治区Ir 的地球化学分布图。
2. 中国川渝滇黔桂5 省、市、自治区Rh 的地球化学分布图。
3. 中国川渝滇黔桂5 省、市、自治区Cl 的地球化学分布图。
4. 中国川渝滇黔桂5 省、市、自治区I 的地球化学分布图。
5. 中国川渝滇黔桂5 省、市、自治区Hf 的地球化学分布图。
6. 中国川渝滇黔桂5 省、市、自治区Cs 的地球化学分布图。

Geochemical Mapping and Geochemical Exploration

XIE Xuejing[1)], LIU Dawen[2)]

1) *Institute of Geophysical and Geochemical Exploration, Langfang, Hebei,* 065000

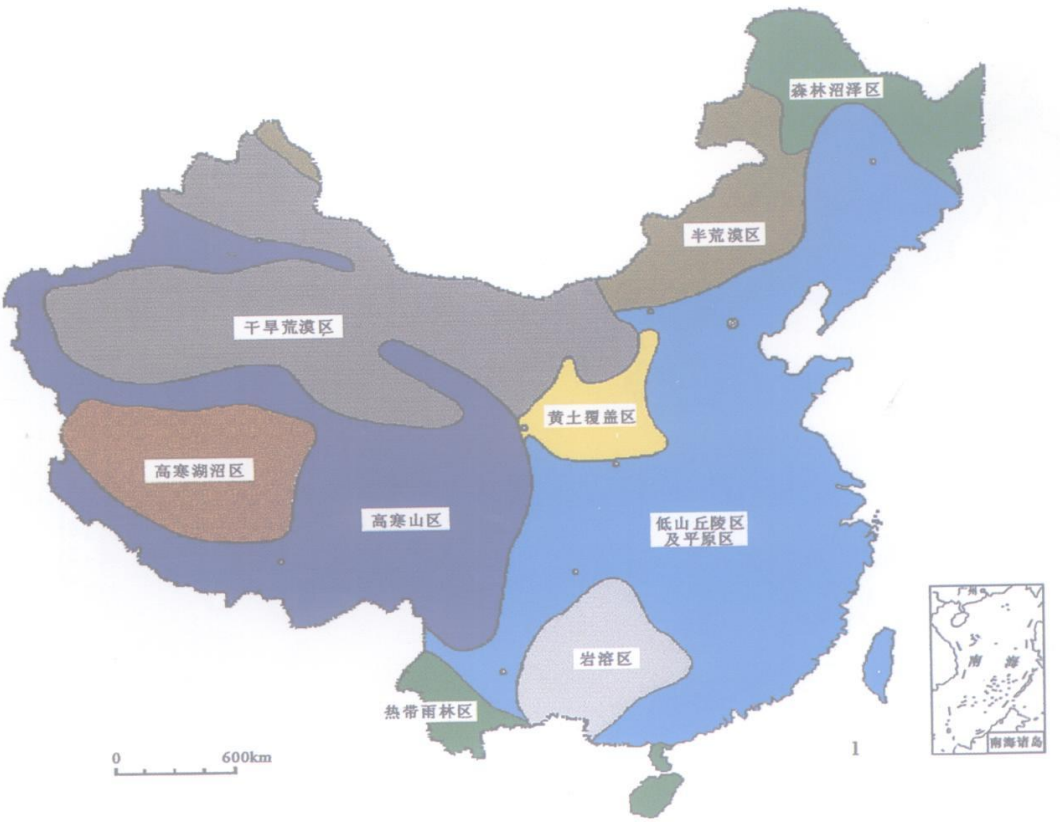
2) *The Development and Research Center of China Geological Survey, Beijing,* 100083

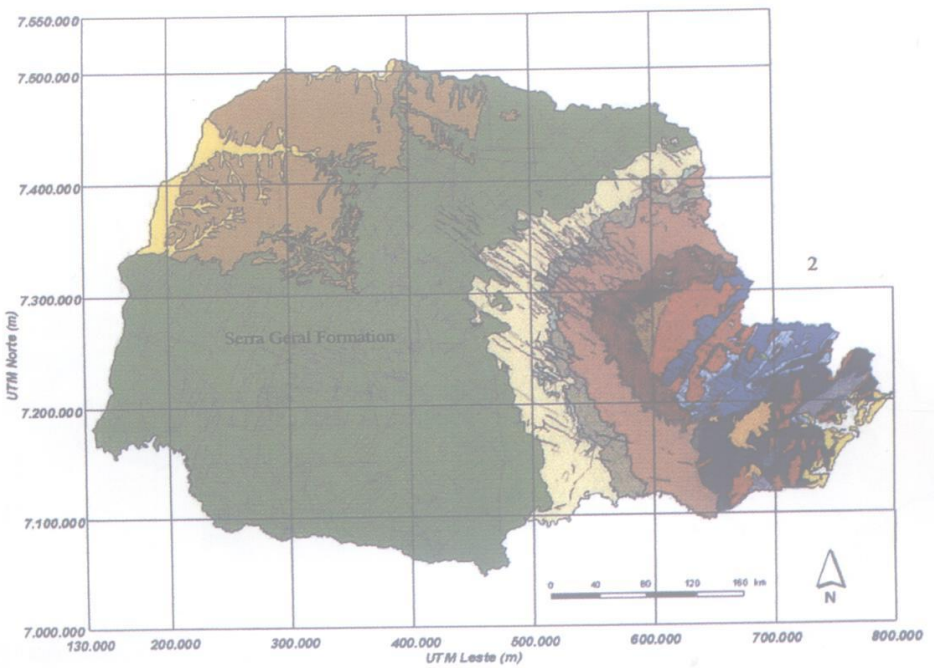
Abstract

The aims and approach of geochemical mapping have been different in China and western countries. Geochemical mapping in western countries has been undertaken by research institutes and universities relying on large instruments with capacity of simultaneous analysis of many elements. The aims of these research projects are to obtain fundamental information of academic interest about the distribution of many elements on earth surface. Geochemical exploration is undertaken by mining companies with analysis of a few ore elements in order to discover new ore deposits. In China we have made great effort to make geochemical mapping both having academic interest and also very useful in mineral exploration. This paper discusses the evolution of concepts and methodology in geochemical mapping and exploration in China & western countries and also foresees the expanding scopes of geochemical mapping in the future.

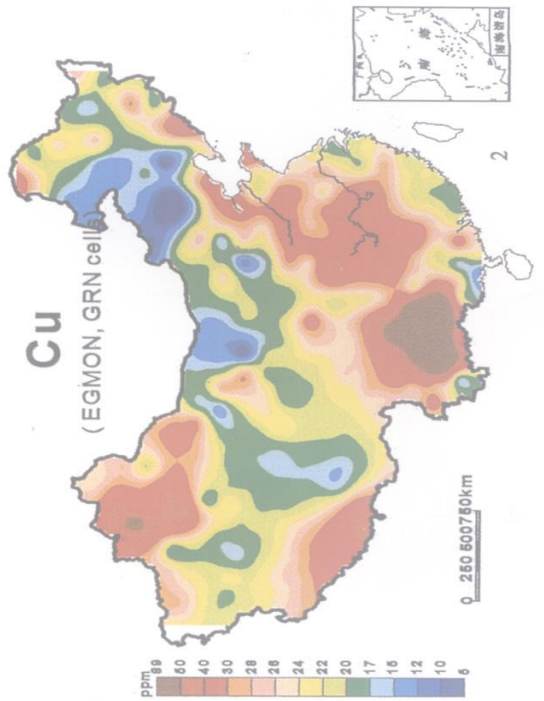
Key words: geochemical mapping; geochemical exploration; multi-element analysis system

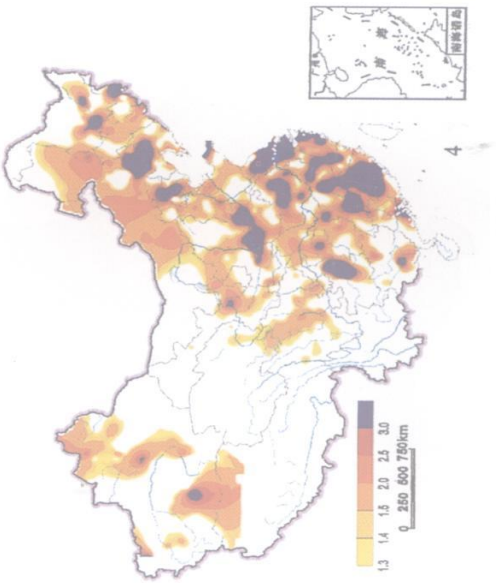
© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

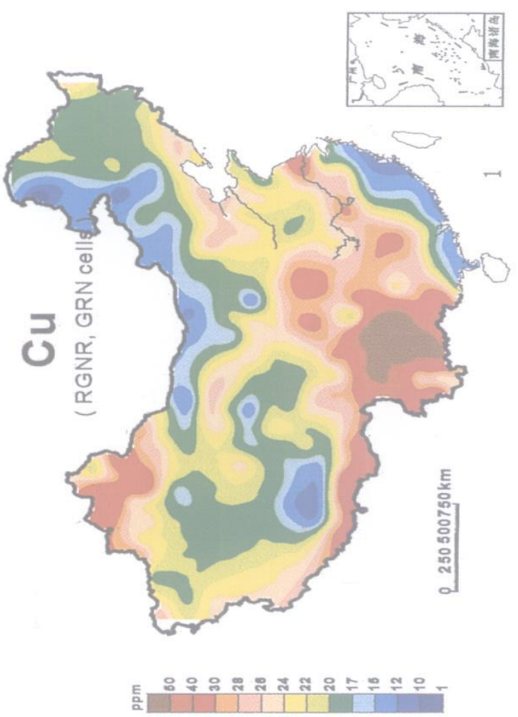


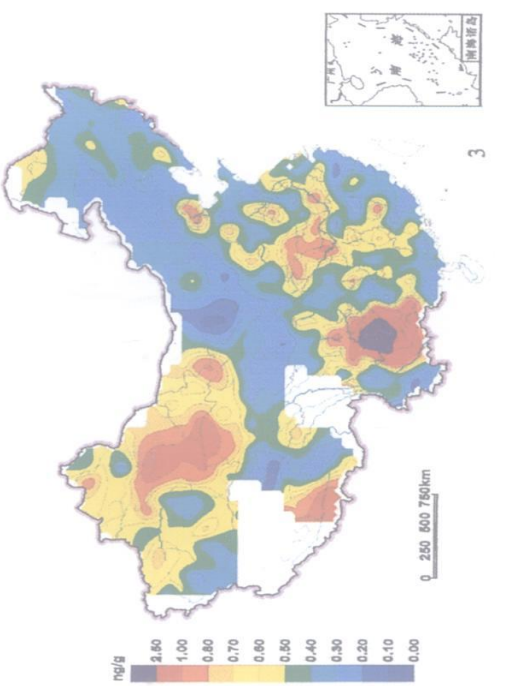


© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

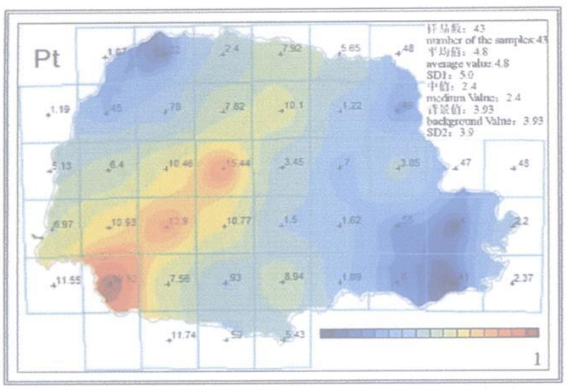


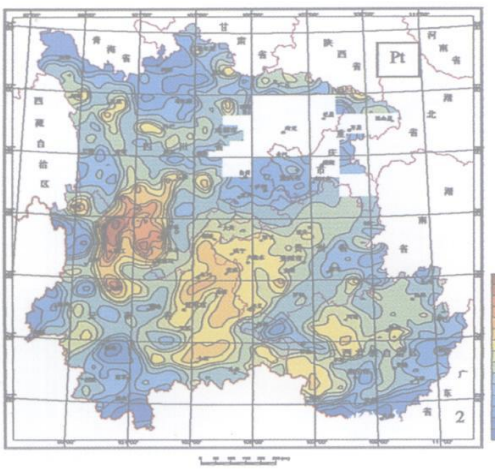


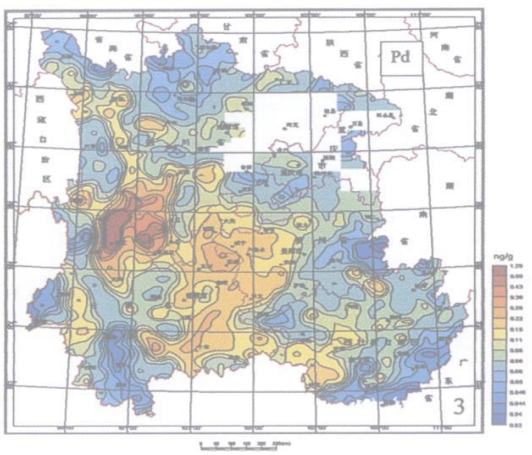


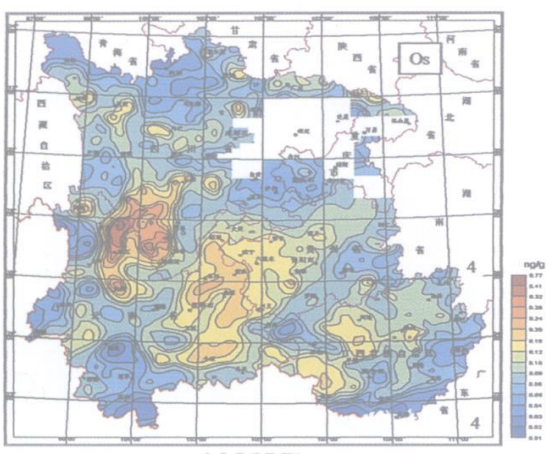


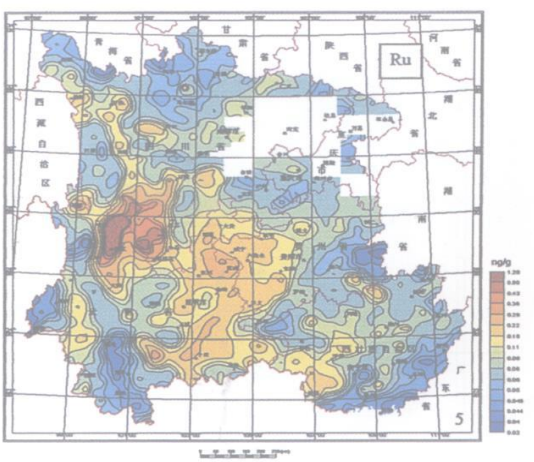
© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net



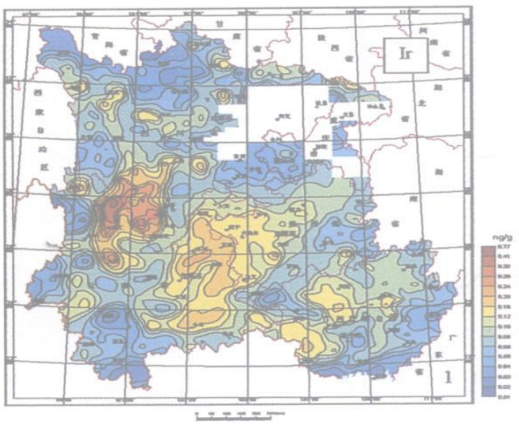


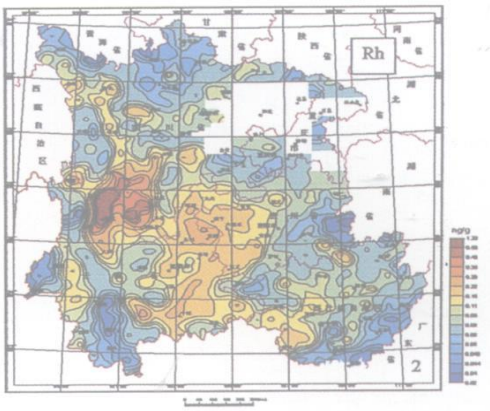


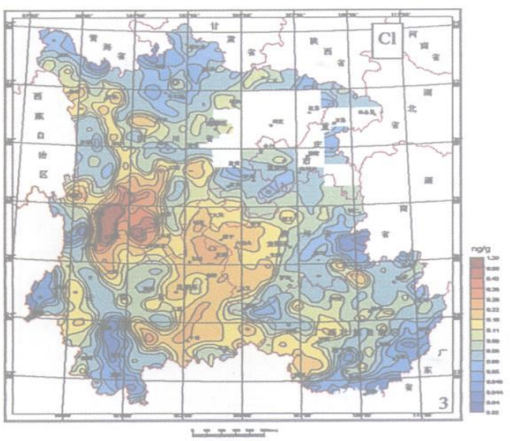


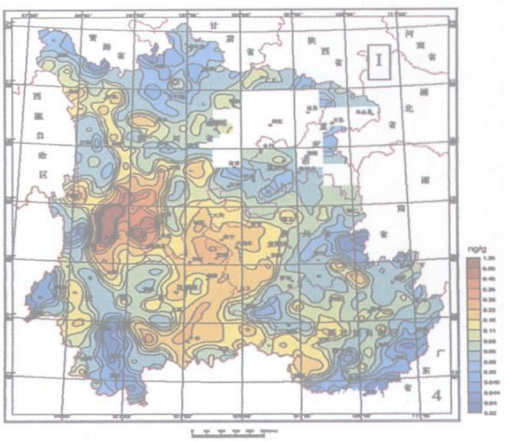


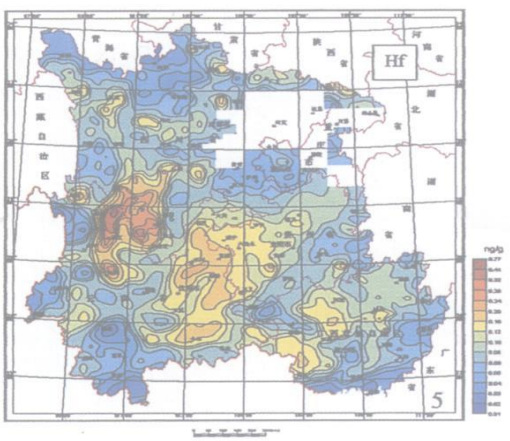
© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

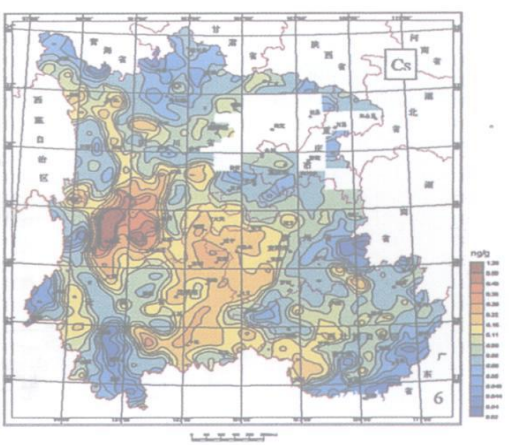












© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net