

全球地球化学填图——历史发展与今后工作之建议

谢学锦

(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)

提要: 区域性与国家性的地球化学填图已取得进展, 如何在可期待的未来以极低密度采样获得周期表内大多数元素在全球的分布, 有赖于对填图理念的更新及采样介质、采样部署与采样方法研究的进展。英国 Webb 等发现在数平方千米至数十平方千米汇水盆地之河口采集水系沉积物样品, 其分析结果可大致逼近其上游汇水盆地内土壤中元素之平均值。挪威及中国的研究工作表明在更大河流(其汇水盆地达数百、数千以至数万平方千米)的河口采样, 这一规律依旧适用。看来, 这种分形规律还可进一步延展至世界上一些汇水盆地达数十万至百万以上平方千米的主要入海河口, 但这方面尚需作更多的研究。在这种新的填图理念指导下, 提出了为实现全球地球化学填图的短期研究与试点计划和长期全面实现之规划。

关 键 词: 勘查地球化学; 地球化学填图; 极低密度采样

中图分类号: P596 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2008)03-0357-18

1 绪 言

自从 W. Smith 于 1815 年制作出第一份地质图^[1]以来, 经过一个多世纪才有了各种全球性的地质图件。这些图件使地质学家得以用全球眼光看待各种地质现象与地质过程, 获得了仅从局部或区域眼光难以获得的对地球的许多新认识。其他地球科学包括地理学、土壤学、水文学、海洋学、气象学、地球物理学亦莫不经历过如此认识过程。唯独地球化学至今仅有一些区域性或国家性的地球化学图件, 且这些图件的质量大都存在问题, 不能有效地在矿产勘查、环境分析及基础研究中发挥更大作用。

区域性与国家性地球化学填图的质量首先在于多元素分析的质量。作者不仅在多次国内外学术会议上及多篇国内外发表之论文中强调这一问题, 而且推动组织地质系统的许多实验室经数十年之研究与实践, 使得多元素分析技术日趋完善, 并正与许多

发展中国家合作, 承担它们地球化学填图计划中的多元素分析。这样取得的成果真正能在各国的矿产勘查及环境评估中发挥更大作用。

这种作法只是使得地球化学填图在一个个地区或一个个国家“碎步前进”。如何在可期待的未来, 获得周期表内大多数元素在全球分布的资料: 全球地球化学图, 有赖于对地球化学填图理念的更新与方法技术, 特别是采样方法技术的全面改进。

2 填图理念与作法的逐步更新

英国 Webb 等^[2]在 20 世纪 60 年代提出, 河床内活性沉积物(水系沉积物)中各种元素的含量可近似代表其上游整个汇水盆地(大致为几平方千米到 100 km²的面积)土壤中各种元素的平均值。这是由于上游汇水盆地中的土壤受到剥蚀及溶解, 进入水系在搬运过程中遭受自然混匀的结果。这种现象数十年来在全世界不同地区陆续得到验证(图 1)。矿

收稿日期: 2008-04-24; 改回日期: 2008-05-06

基金项目: 国家重点基础研究项目(G1999043214); 中国地质调查局地质大调查项目(1212010330206)资助。

作者简介: 谢学锦, 男, 1923 年生, 中国科学院院士, 主要从事勘查地球化学和环境地球化学领域的研究工作; E-mail: xuejing-xie@126.com。

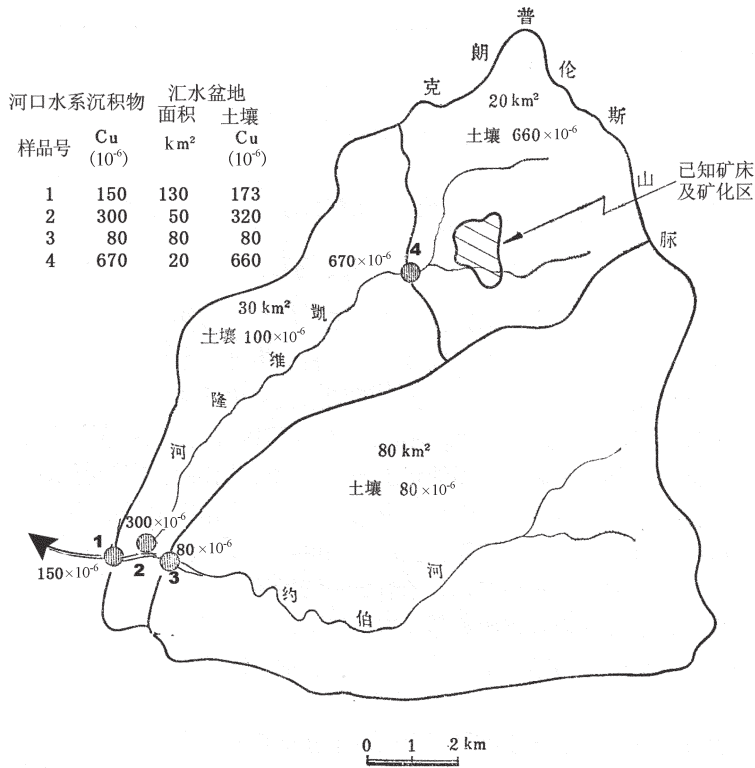


图1 水系沉积物中铜含量与上游汇水盆地土壤中铜平均含量的比较
(转引自 Meyer,^[9]稍作修改)

Fig.1 Comparison between the copper content in stream sediments and the copper average content in soils of a catchment in the upper reaches
(modified from Meyer^[9])

业界从这一发现中得到很大利益：从此地球化学勘查得以先用较稀的密度进行大面积普查，几平方米到上百平方米采一个样，用灵敏度很高的分析方法只分析少数欲探求的成矿元素，然后迅速将工作集中于所发现的区域性异常。这就增大了发现的机遇，减少了风险，并降低了整个发现过程的成本。

从图1可见，1号水系沉积物样品采自约伯河口，分析Cu含量为150×10⁻⁶，其上游汇水盆地土壤中Cu平均加权为80/130×80×10⁻⁶+30/130×100×10⁻⁶+20/130×660×10⁻⁶=173×10⁻⁶。2号水系物样品采自约伯河支流凯维隆河口，分析Cu含量为300×10⁻⁶，其上游汇水盆地土壤中Cu加权平均值为30/50×100×10⁻⁶+20/50×660×10⁻⁶=324×10⁻⁶，余类似。由此可见河口水系沉积物样品中元素含量可近似逼近其上游数十或上百平方千米内元素之平均值；在沟口采一个样可预测上游数十至上百平方千米汇水盆地内的矿化。

Webb 与美国的 Hawkes 认为，利用水系沉积物

采样制作多种元素的空间分布图件，其理论与实用意义将不亚于地质图^[4]。1973年 Webb 等^[9]出版北爱尔兰地球化学实验图集以后，全世界已有五十余个地球化学填图项目完成或正在进行，并正式出版了三十余册区域性及国家性地球化学图集^[6](表1)。

这些图集的填图工作大多由研究部门承担，但由于大多数项目过分强调填图目标是取得元素分布的基础性资料并解决一些环境问题，对多元素分析未作什么深入研究，受经费限制，多元素分析多仅采用一种大型仪器进行。取得的数据远达不到找矿的要求，故不受矿业界重视；由于数据未进行监控，不能全球对比，故亦不受地学界重视。

表2表明，20世纪90年代进行的或完成的38项地球化学填图计划所分析的元素很不一致。像Au、Sb、Hg这样重要的成矿元素只有7项计划提供过数据，而像Zn这样最普通的元素也还有3家没有数据。

从表3可见，在一些极著名的地球化学填图计

表 1 已出版的国家性或跨国性地球化学图集
Table 1 National or cross-country geochemical atlases published

序号	图集名	作者	年份
1	北爱尔兰地球化学实验图集	J. S Web 等	1973
2	Wolfson 英格兰及威尔士地球化学图集	Webb 等	1978
3	Shetland 区域地球化学图集	J. Plant 等	1978
4	Orkney 地球化学图集	J. Plant 等	1978
5	阿拉斯加地球化学图集	Weaver 等	1983
6	德意志联邦地球化学图集	Fauth 等	1985
7	江西西北地球化学图集	谢学锦等	1985
8	北斯堪地那维亚地球化学图集	Bolviken 等	1986
9	奥地利地球化学图集	Thalmann 等	1989
10	芬兰地球化学图集 第一部分: 地下水	Lahermo 等	1990
11	芬兰地球化学图集 第二部分: 底砾层	Koljonen	1992
12	英格兰及威尔士土壤地球化学图集	Mc Grath 及 Love land	1992
13	中国土壤背景地球化学图集	郑文光等	1994
14	牙买加地球化学图集	Lalor 等	1995
15	波兰地球化学图集	Lis 与 Posieczna	1995
16	芬兰地球化学图集 第三部分: 河水与沉积物	Lahermo 等	1996
17	斯洛伐克地球化学图集: 森林物质	Mankovska	1996
18	斯洛伐克地球化学图集: 地下水	Rapant 等	1996
19	中白令海地区环境地球化学图集	Reimann 等	1998
20	斯洛伐克地球化学图集: 土壤	Curlik 与 Sefeik	1999
21	拉托维亚地球化学图集	Kadunas 等	1999
22	中国生态环境地球化学图集	李家熙等	1999
23	挪威地球化学图 第一部分: 河漫滩沉积物化学组分	ottesen 等	2000
24	意大利 Campania 地区环境地球化学图集	De Vrio 等	2003
25	北欧农业土壤地球化学图集	Reimann 等	2003
26	东白令海地区地球化学图集	Salminen 等	2004
27	欧洲地球化学图集 第一部分	Salminen 等	2005
28	欧洲地球化学图集 第二部分	De Vos 等	2006

表 2 38 项各国地球化学填图计划中分析元素的统计^[7]
Table 2 Statistics of analyzed elements in 38 geochemical mapping plans of various countries

30 个以上填图计划分析的元素	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 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。

划中,许多地壳丰度低的成矿元素或者未分析,或者分析检出限太高。

而中国从 20 世纪 70 年代后期开始的一些地球化学填图计划,经数十年努力,用多仪器、多方法的作法解决了地球化学填图中的瓶颈问题——多元素

分析,不仅在找矿与环境研究中发挥了巨大作用,而且由于利用标样进行了严格监控,还使所取得的数据具有重大学术意义。

1989 年开始的国际地球化学填图计划 (IGCP259/360)有许多国家参加。这项计划建议以

表 3 某些过去的地球化学填图计划中地壳丰度 $<3 \times 10^{-6}$ 元素的检出限^[7]
Table 3 Detection limits of elements with a crustal abundance of $<3 \times 10^{-6}$ in some previous geochemical mapping plans

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
IGCP259 要求处批分析的元素												
Au	0.001	0.002	--	--	--	0.01	--	(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	(0.5)	(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:1-地壳丰度;2-IGCP 建议的分析检出限;3-N.Sumatra 填图中的检出限;4-英国 Wolfon 图集
 中的检出限;6-中国区域化探扫面计划;7-加拿大国家填图计划中的检出限;8-Alaska 填图计划中的
 检出限;9-原西德地球化学图中的检出限;10-Nordkallot 填图计划中的检出限;11-芬兰地球化学图中的
 检出限;12-英国南苏格兰地球化学填图中的检出限;括号内数字表示元素检出限超出了地壳丰度。

5000 多个 $160 \times 160 \text{ km}^2$ 的采样格子覆盖全球。每个格子的面积达 25600 km^2 。在这么大的格子中只在几个地点采少数样或组合样,故采样分析能否代表此一格子的平均值是大问题。在讨论做法的过程中(1988—1992 年),英国人格守 Webb 的传统及在苏格兰进行的试验^[9]得出的结论,坚持全球地球化学填图应以水系沉积物采样为主,但由于自然选分作用,在更大的河道中细颗粒物遭到流失,此时河底的活性沉积物中大部分为石英及长石,其分析结果将与上游汇水盆地内土壤平均值偏离,故只能在 $160 \times 160 \text{ km}^2$ 范围内选取数个汇水盆地面积小于 100 km^2 的河口进行采样,并同时在河口采集土壤与水样。

欧洲大陆的许多学者,以挪威的 B.Bolviken^[9]为首,在西欧地球化学填图(WEGS)项目中已作了许多研究,他们建议采集河漫滩沉积物,在数百平方千米的水系口上采样。

另一方面,中国建议在更大的汇水盆地(数千平方千米)口上采集泛滥平原沉积物^[10-11]。

河漫滩沉积物与泛滥平原沉积物是洪水期间,上游更大范围内的物质被冲刷下来,故它们可以预测上游更大范围内的物质成分。当时 IGCP259/360

项目主持人 Darnley 为了平息争论,在最终报告(UNESCO 出版物,地球科学第 19 号)中,将上述 3 个建议中的采样介质都列上(图 2)。

为解决这些争议,中国以 500 余泛滥平原沉积物组合样控制全国,据此制作出的全国许多元素的地球化学图与用数百万水系沉积物样品分析制作出的图在宏观趋势上极为相似^[13]。中国的示范表明了泛滥平原沉积物采样在全球填图中的可行性。

之后的全欧(FOREGS)地球化学填图计划,由于英国的坚持,决定在这些 $160 \text{ km} \times 160 \text{ km}$ 的格子中采集水系沉积物,土壤及水样。中国提供的有利证据使这项计划同时列入了泛滥平原沉积物采样^[14],而挪威的采集河漫滩沉积物的建议未得到采纳。

但严格按 5000 个格子采样,由于有许多格子通行困难,在 100 km^2 汇水盆地口上采水系沉积物的方案,将使采样预算的费用大增。即使只采集泛滥平原沉积物也有很大困难。故 IGCP259、IGCP360 的建议除在中国及欧洲实施外(中国环境监测网络计划的采样格子见图 3 及欧洲的 FOREGS 计划见图 4),许多其他地区在可望的未来难以实行(图 5)。

受中国泛滥平原沉积物研究的启发,2001 年在奥斯陆召开的全球地球化学填图会议上挪威的 J.

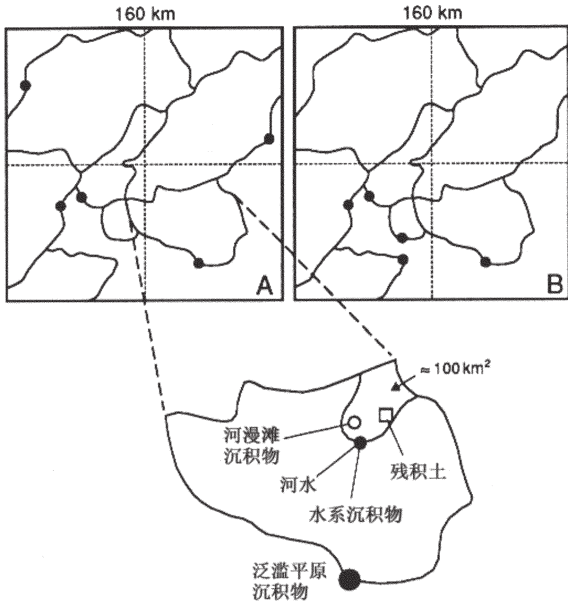


图 2 IGCP259 建议的采样部署 [12]

Fig.2 Sampling plan proposed by IGCP259

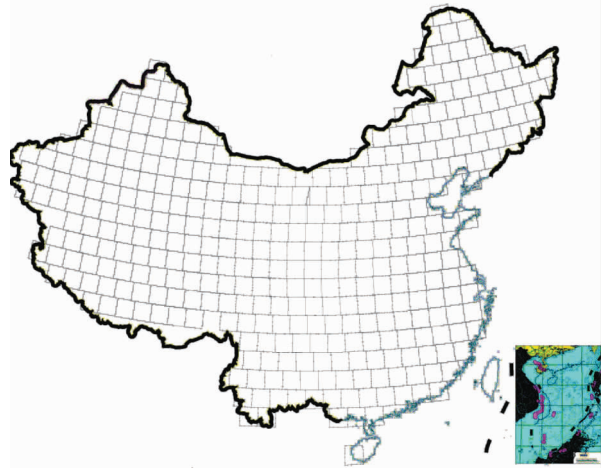


图 3 IGCP 259/360 建议在中国的采样格子共 355 个中国的环境监控网格项目 (在大部分格子中都有 1 个至数个采样点)

Fig.3 IGCP 259/360 suggests a total of 355 sampling grids in China for the environmental monitoring and control gridding project in China. There are one to several sampling points in most grids

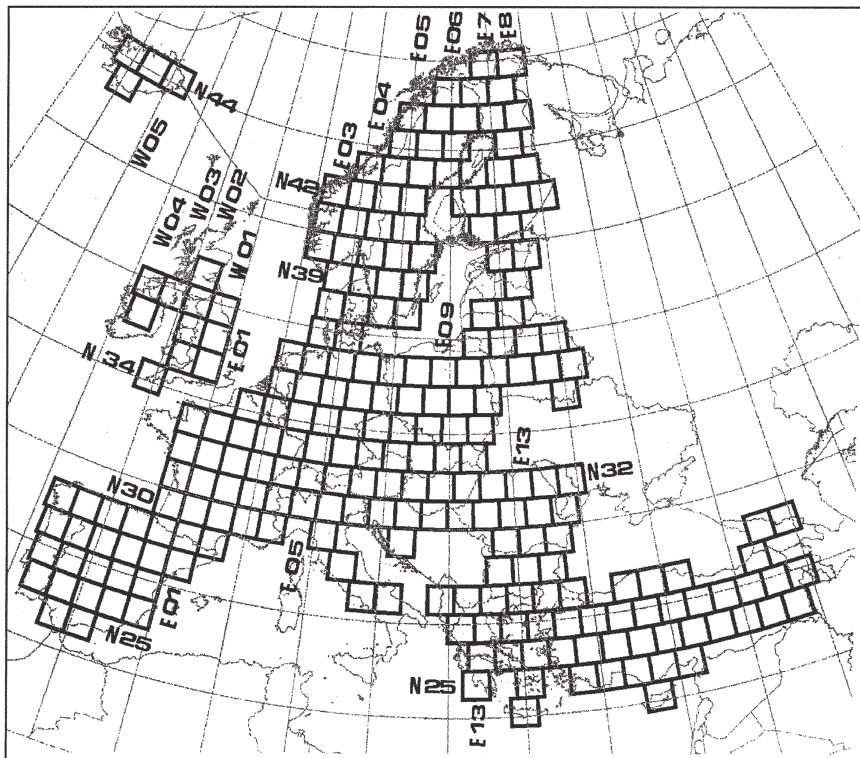


图 4 IGCP259/360 建议的欧洲采样格子共 237 个 [13] (每个格子中都采了数处泛滥平原沉积物,并在每个格子中选几个地点在小于 100 km² 汇水盆地口上采集了水系沉积物、土壤及水样)

Fig.4 The sampling grids arranged in Europe proposed by IGCP259/360 totalled 237 (after Saliminen et al.). There are several sites of floodplain sediments in each grid, and stream sediment, soil and water samples are taken from estuaries of catchments with an area >100 km² at several sites selected in each grid

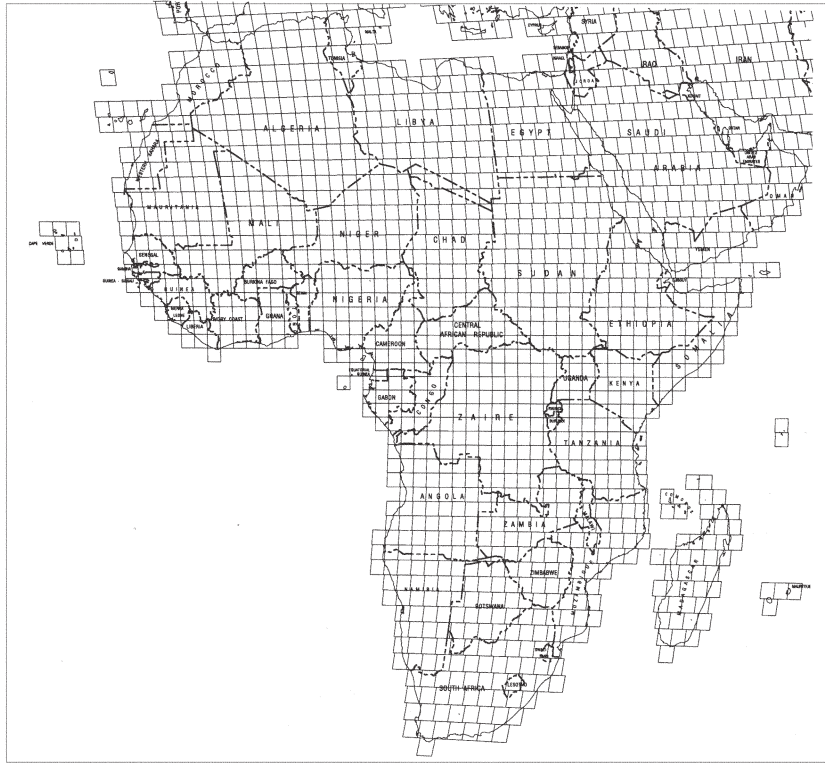


图 5 非洲部署的采样格子,共有 1300 多个^[2]
(其中许多格子环境恶劣,到达困难)

Fig.5 There will of of more than 1300 sampling grids arranged in Africa (after Damley et al., 1996), of which many with difficuet accessibility

Bogen 及 R.Ottesen 建议在所有大河入海口采集约 200 余组合样及其主要支流口上采集约 2500 组合样品进行全球地球化学填图^[5]。挪威学者提出这项建议得到国际水文学会 (IAHS) 与挪威地质调查所 (NGU) 的支持。J.Bogen 是水文学家,当时他是国际水文学会主席。国际水文界每年都取得沉积物入海通量的吨数,但并未取得化学成分的资料。

Bogen 与 Ottesen 在 2005 年北极 Long Yearbyne 会议上正式建议,全球地球化学填图第一阶段的工作在世界所有入海河的入海口采集 400 组合样,并散发了采样的具体部署图(图 6)。

这种作法的优点是所有采样点皆在易于到达之处(图 7)。但首先这种作法要在填图上有新的理论与实验依据。证明 Webb 的发现在越来越大尺度上亦同样可实现(符合自然界的分形规律)。实际上过去多年对河漫滩沉积物及泛滥平原沉积物的研究已表明 Webb 的发现可延伸至较大的河口预测其上游数百至数千平方千米汇水盆地内元素平均值。但对

在更大河口预测数万、数十万甚至百万平方千米元素平均值是否可行,就必须再进行更多采样部署、采样介质与采样方法的实验研究,并取得若干成功的实例,这样才能使这种极低密度地球化学填图能反映周期表内几乎所有元素在地球表层的分布,才能使取得的成果在成矿预测、环境监控及其他有关基础研究中发挥作用。

3 采样介质与采样部署的实验研究

这类实验研究只有中国在认真进行。也只有中国有可能认真进行。地球化学填图包括三个组成部分:采样、分析及数据处理与成图。中国与西方一直在争论采样与分析对地球化学填图何者更为关键。作者认为只有分析方法研究与实践达到灵敏度极高,能精确辨别极小差异,且可全球对比的要求之后,全球填图的采样方法研究才不致误入迷途。

(1)数百平方千米汇水盆地河口采样的代表性:挪威 Ottesen 等^[16]1988—1989 年。在挪威全境许多数

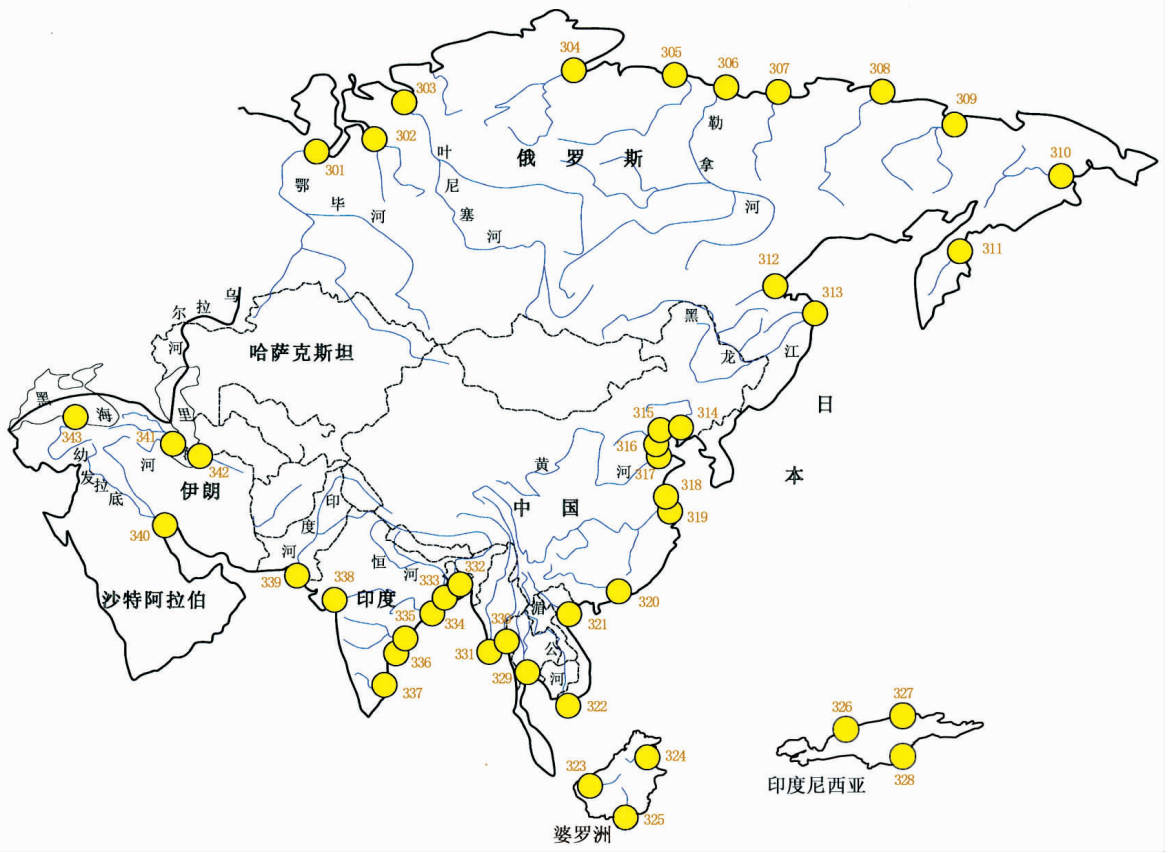


图 6 亚洲主要河口三角洲采样位置及编号图
 Fig.6 The major river-mouth sampling layout in Asia

百平方千米的汇水盆地口上共采集了 690 个河漫滩沉积物样品，他们并无更详细的地球化学图与河漫滩采样所制图件比较，只是根据所圈定的地球化学模式与地质及矿化资料的对比而证明其可行性。

沈夏初^[7]1989—1990 在中国江西进行的类似实验，共在 94 个河口采集河漫滩沉积物，其上游汇水盆地面积自 60 余平方千米至 600 余平方千米，此区有化探扫面水系沉积物每 4 平方千米 1 个分析数据的详细资料可以对比。故对比后元素分布模式的相似性更具说服力(图 8)。

(2)数千平方千米汇水盆地河口采样的代表性：谢学锦与成杭新等 1993 年在浙江全省 10 个汇水盆地(1000 余平方千米至 6000 余平方千米)河口采集组合样品，分析结果与汇水盆地内水系沉积物样品分析结果(每 4 平方千米 1 个数据)的平均值进行比较^[7]，结果令人鼓舞。图 9 示 Ag 之一例。据此在全国范围内在 500~800 余个采样地点进行了泛滥平原沉

积物采样(环境监控网络 EGMON 计划及其后之西藏计划)分析结果制作的元素图与用化探扫面百万余水系沉积物样品分析结果制作的元素图，其宏观趋势惊人的相似。除过去已发表的 EGMON 计划取得的 W 的比较图^[8]、Cu 及 Ni 的比较图^[9]外，本文再列一利用 EGMON 及西藏计划取得共 800 样品制作的 Au 图与化探扫面百万以上样品制作的 Au 图的比较(图 10)。

(3)数万平方千米汇水盆地之河口采样代表性：1998 年，湖南的童霆从原 1993—1997 年湖南省在洞庭湖区采集的大批土壤样品中选出湘江、资水、沅江及澧水河口属于泛滥平原沉积物的样品(图 11)，在中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所实验室分析了 33 种元素，取得了令人鼓舞的结果^[12]。图 12 示在 4 条河口组合样中 Sb 的平均值与整个汇水盆地中 Sb 平均值的比较，可以看到河口样品 Sb 含量值与汇水盆地中的 Sb 平均含量高低走势惊人



图 7 根据挪威科学家建议在非洲部署的采样点
(这比按 160×160 km² 格子采样大大节省人力物力)

Fig.7 Sampling sites arranged in Africa according to the suggestion of Norwegian scientists
(which greatly saves manpower and resources in comparison with sampling on a 160×160 km² grid)

的一致。这说明在河口采集泛滥平原沉积物可以进一步预测资源潜力(图 12 之附表)。中国的这项研究 2001 年在奥斯陆“世界主要河流沉积物通量及全球地球化学填图”会议上成为对挪威学者的建议的最有力的支持。

(4) 数万平方千米面积汇水盆地河口采样之重现性: 2003 年童霆在湘江、资水、沅江 3 条河口重新采样以研究这种采样结果的重现性。图 13 所示的第二次采样并未沿干涸的古水道, 而是散布于水道四

周的泛滥平原。图 14 示两次采样分析 Sb 的结果。这些结果 2005 年在北极 Longyearbyen 岛会议上激励挪威学者正式提出在全球 400 余入海的大河三角洲上部署采样的建议。

表 4 所列为其他成矿元素的分析结果, 从表上可看出虽然两次采样部署方法不同, 而且时隔 6~7 年, 但许多元素分析结果的重现性都极好。表 4 最后一行所列举在三江流域内已探明各成矿元素的储量。由此可看出依据河口泛滥平原沉积物预测上游

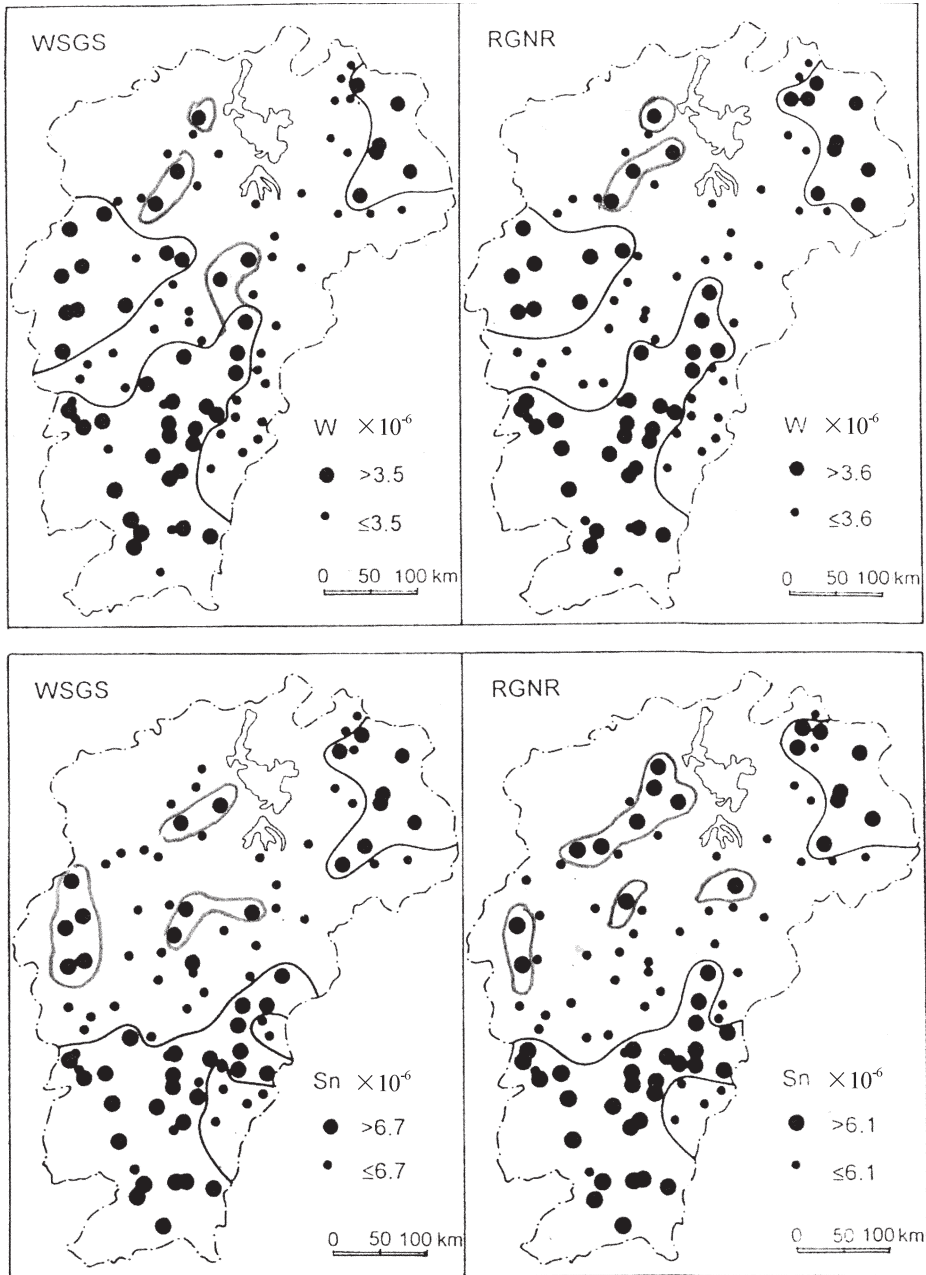


图 8 江西省内河漫滩沉积物与水系沉积物中 W 与 Sn 的分布
WSGS-河漫滩沉积物;RGNR-水系沉积物

Fig.8 Distribution of W and Sn from WSGS and RGNR data

资源潜力的能力。

(5) 数十万至百万平方千米面积汇水盆地河口采样之代表性;挪威 2003 年提出的首先在入海河口采样的建议并无实验依据,无法证明这类样品的代表性,即不能证明其分析结果能否接近整个汇水盆

地(其规模有不少在数十万至数百万平方千米)中元素的平均值;对采样方法亦未作任何研究,难以写出详细的采样指南。而中国当时的实验只初步表明在汇水盆地面积为 1~10 万 km² 时,在河口泛滥平原沉积物采样具有很好的代表性,但并未涉及更

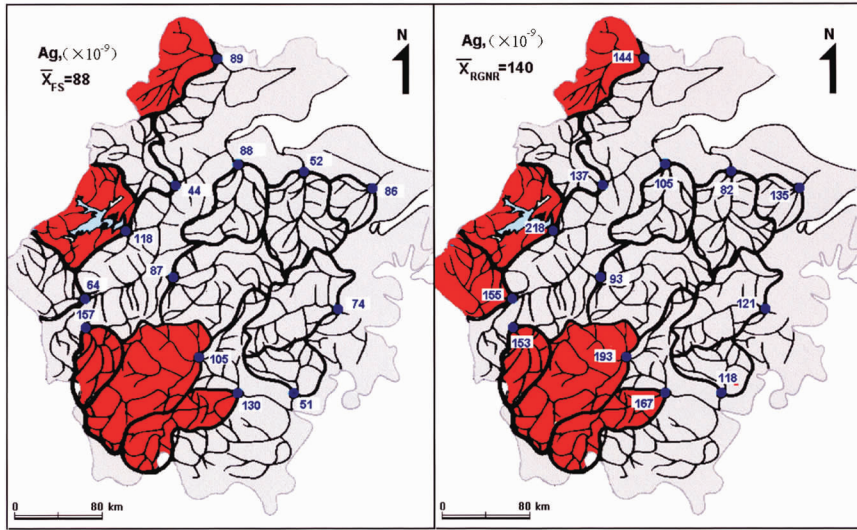


图9 Ag在浙江10个汇水盆地中的分布
 (左图为河口泛滥平原沉积物组合样中Ag值,右图为汇水盆地中水系沉积物样品中Ag平均值)
 Fig.9 Distribution of Ag in ten catchments of Zhejiang Province
 (the left diagram denotes the Ag values in floodplain sediments composite samples; the right diagram denotes the average Ag values of stream sediments samples in catchments)

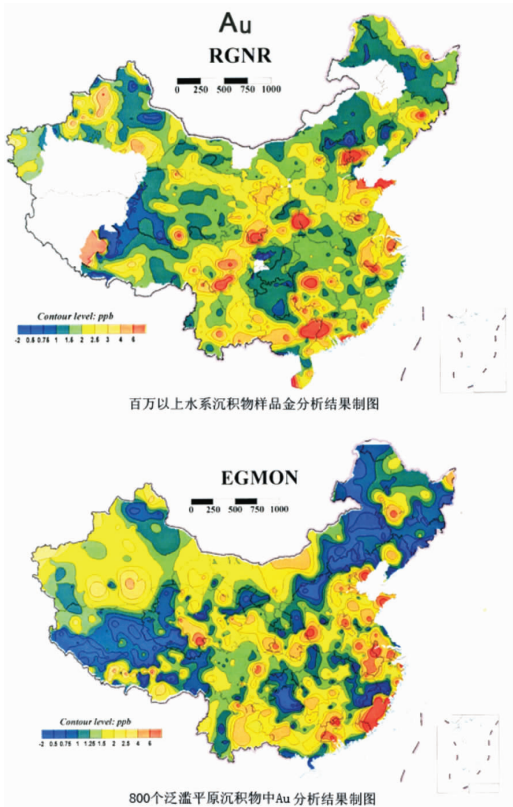


图10 水系沉积物中Au与泛滥平原沉积物中之金
 Fig.10 Au in stream sediments and floodplain sediments

大的汇水盆地。

有鉴于此,童霆又在长江口、长江流经武汉及成都附近采集了沉积物样品,其长江口组合样编号在Bogen与Ottesen的图上为319号(图7)。由于长江流域面积达180万平方千米,其沉积三角洲亦有很大规模,故由南京至上海共采集40余件样品(图15),现刚开始研究其组合后的分析结果(表5)。表5表明,可以根据三角洲组合样分析结果(Xd)近似地估计出整个流域的原始背景平均值(Xsi)。看来,对流域面积百万平方千米以上的河流,采集全球河口三角洲组合样能否对研究地壳与地幔不均匀性,全球环境污染及全球矿产资源潜力预测提供重要资料,尚需在更多流域达百万平方千米的地区对采样部署、采样方法、采样物质作更多研究工作,然后进行对比。

(6)区分自然界变化与人类活动的污染

2004年成杭新等研究太湖湖底沉积物中Cd与Pb的污染历史,采集了11个沉积物柱,进行了地质纪年及Cd与Pb的分析,结果见图16^①。

图16表明,中国工业活动加剧所造成的污染是从1980年开始的。故今后在长江三角洲再进行实验

①成杭新,赵传东,庄广民,等.太湖流域土壤重金属元素污染历史的重建——以Pb, Cd为例.在印刷中,2008.

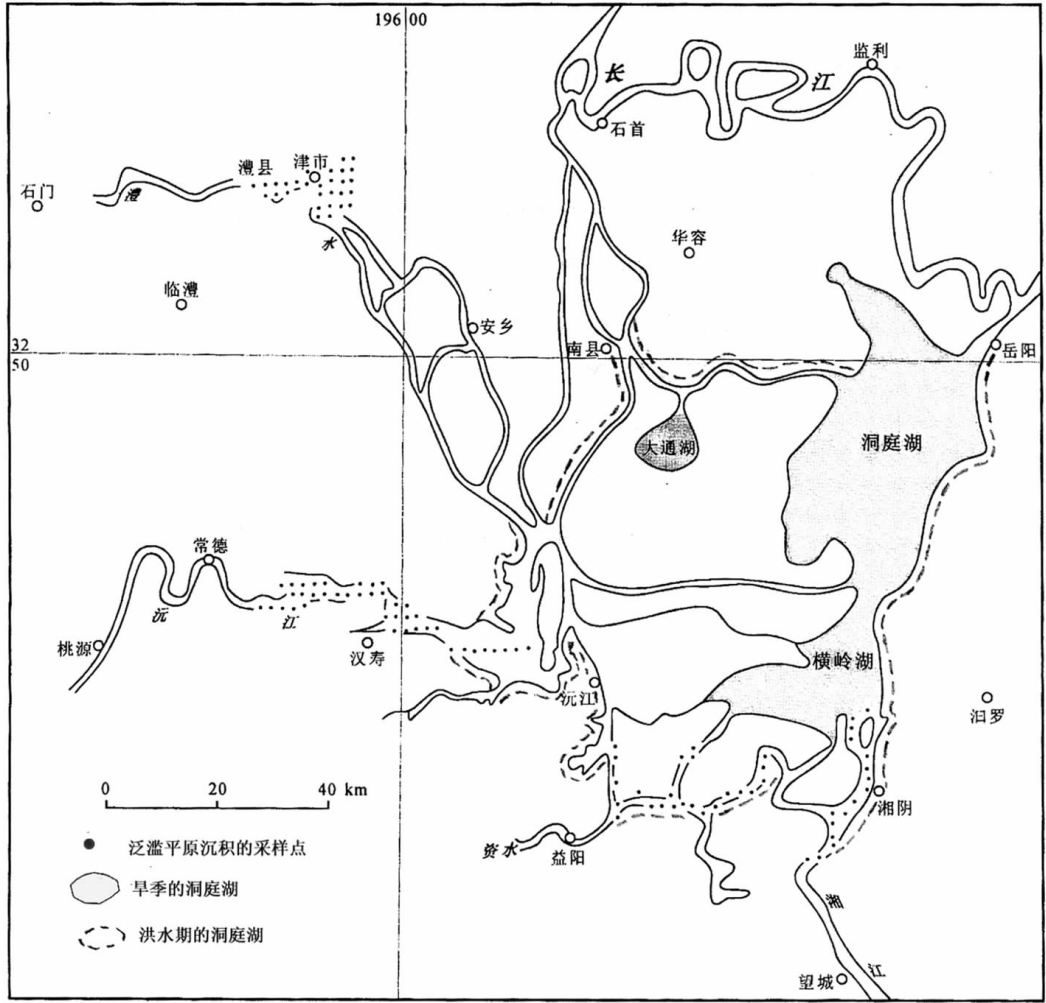
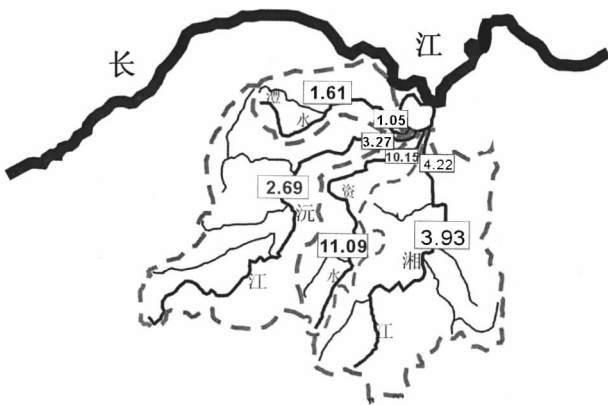


图 11 长江支流 1998 年泛滥平原沉积物采样部署

Fig.11 Arrangement of floodplain sediments sampling at the mouths of tributaries of the Yangtze River in 1998



	河口 Sb 含量 μg/g	汇水盆中已 知 Sb 平均值 μg/g	汇水盆中已 知 Sb 储量 (T)	汇水盆地 面积 (km ²)
湘江	4.22	3.99	100000	98000
资水	10.15	11.09	2200000	33000
沅江	3.27	2.69	450000	95000
澧水	1.65	1.61		18900

图 12 湘、资、沅、澧河口泛滥平原沉积物中的 Sb 平均值与整个汇水盆地中的 Sb 平均值

Fig.12 Sb average values in floodplain sediments at the mouths of the Xiangjiang, Zijiang, Yuanjiang and Lijiang rivers

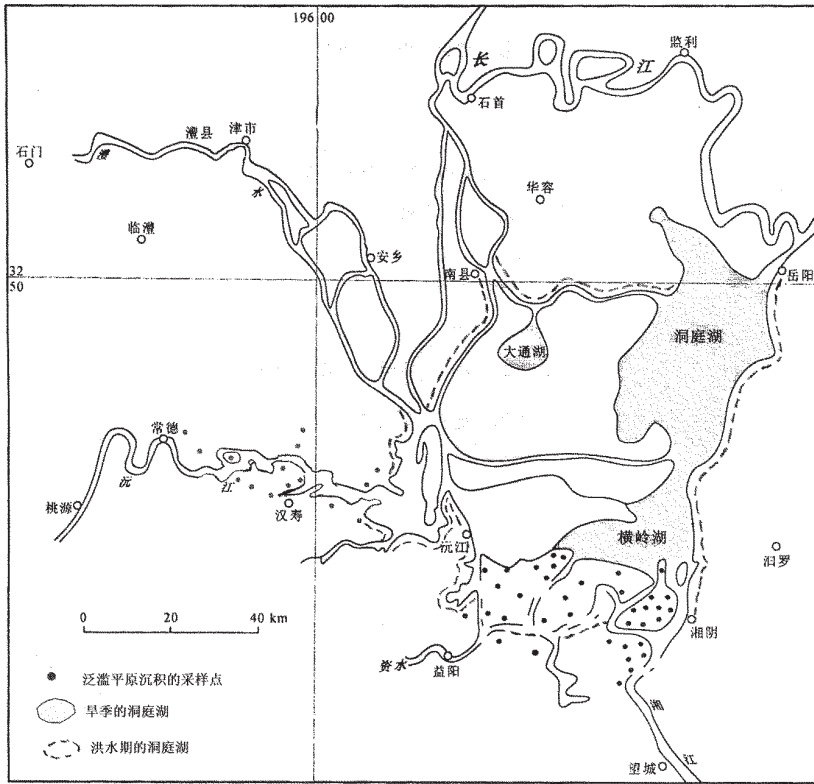


图 13 长江支流 2002 年泛滥平原沉积物采样部署

Fig.13 Arrangement of sampling in 2002 from floodplain sediments at the mouths of three rivers draining into Yangtze River

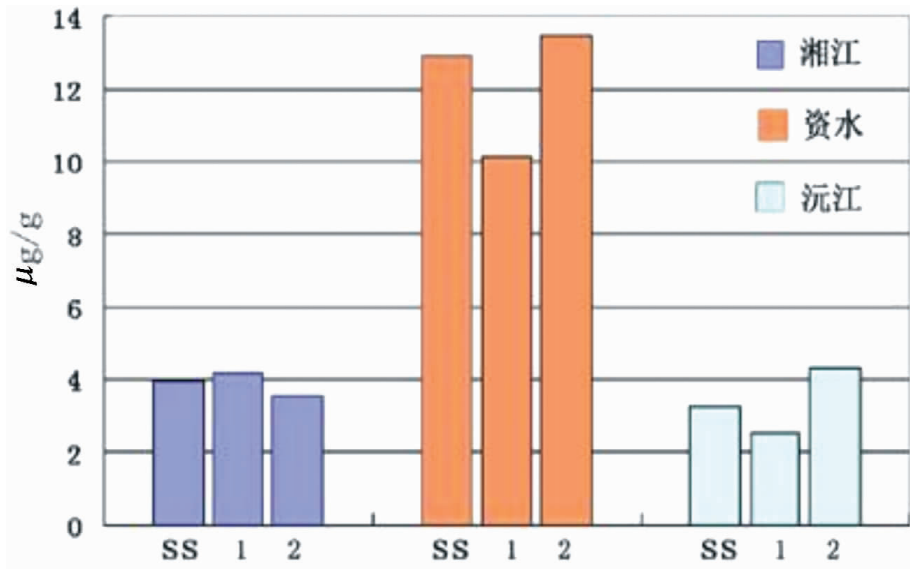


图 14 各次采样中 Sb 平均值

SS—根据化探扫面数据取得的各汇水盆地水系沉积物中 Sb 平均值
1—河口泛滥平原沉积物第一次采样之 Sb 平均值;2—河口泛滥平原沉积物第二次采样之 Sb 平均值

Fig.14 Sb average values in various Rind of samplings

SS:Sb average values in stream sediments of various catchments obtained from RGNG date
1—Sb average values in floodplain stream sediments obtained in the first sampling;
2—Sb average values in floodplain stream sediments obtained in the second sampling

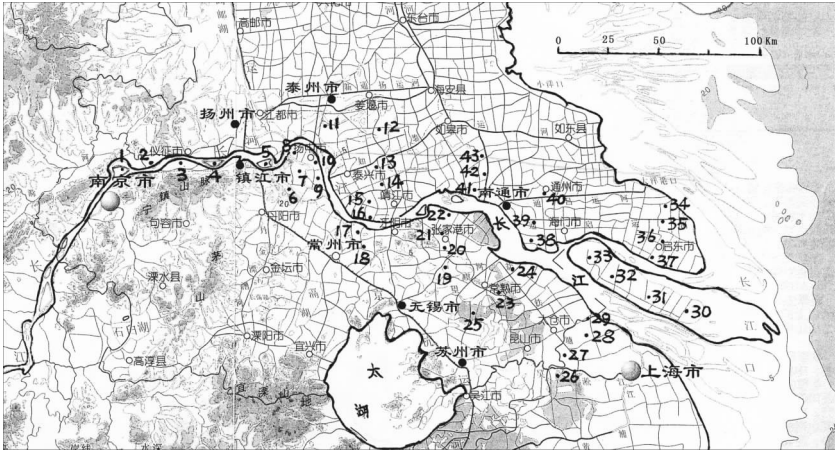


图 15 长江三角洲样点分布图

Fig.15 Distribution of sampling points on the Yangtze River delta

表 4 湘、资、沅三江两次河口采样分析结果与各汇水盆地内平均值的对比 ($\mu\text{g/g}$)

Table 4 Comparison of data from twice sampling of floodplain sediment samples with average values from their corresponding catchments (all in $\mu\text{g/g}$)

		W	Sn	Sb	Pb	Zn	Cu	Ag
湘江	SS	6.31	8.45	3.93	39.7	87	30.0	103
	1	6.5	9.67	4.22	55.1	133	31.3	141
	2	5.5	10.4	3.55	62.0	125	34.6	147
资江	SS	3.55	6.18	12.9	32.5	91	28.8	76
	1	2.94	4.92	10.15	31.7	97	26.0	85
	2	2.57	4.1	13.47	31.0	81	27.9	94
沅江	SS	2.39	3.56	3.27	25.5	91	28.3	104
	1	2.84	3.11	2.49	30.5	104	25.6	113
	2	2.24	3.28	4.32	31.9	92	27.6	107
湘 探明储量(万吨)		147	92.2	10	425	618	60	0.9
资 探明储量(万吨)		19	37	220	23	76	--	0.1
沅 探明储量(万吨)		9.4	--	--	24	265	--	--

4.1 短期计划,内容包括方法技术的实验研究及面上的示范

4.1.1 方法技术的实验研究

(1)发展中国家入海大河口沉积物采样方法技术研究

大河指汇水盆地面积数十万至百万平方千米以上,拟以长江为例。因其他发展中国家目前尚无高质量的详尽的水系沉积物数据可以对比。

长江流域现有化探扫面数据 (39 种元素各有 40 余万数据),鄱明才等的浅海沉积物分析数据(286 样品各分析 56 种元素),环境监控网络数据(58 种元素,各有 500 余在不同级别支流口的数据),近年杨忠芳、成杭新等长江流域区域生态地球化学评价项目在长江一级及二级支流中采集的大量泛滥平原沉积物样品,水中悬浮物以及浅海沉积物样品(图 17)的分析结果,都用来研究样品代表性、采样重现性、不同数据集的关联及它们的实用意义。发现问题后还须补作一些实验研究。

(2) 发达国家大河入海口采样方法技术研究

拟以美国密西西比河为例,在其 3.22 百万平方千米的汇水盆地内近年来已有多个填图计划的大量数据可以利用,由于美国人对多年国际地球化学填图的活动了解甚少,须通过国际会议与通讯进行交流,达成共识,以便进行合作。

4.1.2 面上的示范研究

选择中国与欧洲进行。因此二地区皆已有不同层次的高质量地球化学资料,可用以与河口三角洲

时可在每个采样地点同时采集两个样品:浅部样品(~10 cm),用以评估人类活动造成的污染。深部样品(20 cm 以下至 1 m),用以评估自然作用为主的变化。

4 今后工作之建议

本项研究规模宏大,意义深远,影响因素复杂。规模涉及全球许多国家,影响因素不仅涉及思路与方法技术的正确与否,还涉及国际政治社会的变化。故需不断根据情况与机会修订短期具体计划,并根据短期计划修订长期规划。

表 5 某些成矿元素在整个长江流域水系沉积物中的平均值与入海口三角洲沉积物中平均值的对比 ($\mu\text{g/g}$)
Table 5 Comparison of the average values ($\mu\text{g/g}$) of some ore-forming elements between stream sediments of the whole Yangtze River drainage region and estuarine deltas

元素	X_s	X_{si}	X_d	元素	X_s	X_{si}	X_d
Ag	102	76.6	76.6	Nb	19.0	17.0	16.9
Au	2.4	1.5	1.4	Ni	34.6	29.3	35.0
Hg	107	54.3	54.0	Pb	33.1	25.7	24.0
Co	15.7	13.8	13.4	Sb	1.7	0.9	0.6
Cu	33.4	24.5	24.9	Sn	4.4	3.2	2.9
Li	41.2	38.4	40.0	U	3.3	2.8	2.2
Mn	810.3	731.2	647.0	W	3.3	1.9	1.6
Mo	13	0.8	0.5	Zn	89.2	79.2	74.0

注： X_s 为整个长江流域40余万水系沉积物分析的平均值
 X_{si} 将这40余万样品数据多次叠代，每次除去 $>X+3\sigma$ 及 $<X-3\sigma$ 的数据直至所有数据都无 $X\pm 3\sigma$ 。这样形成的数据集应大致为原始背景全域，其平均值代表了地质演化过程中区域富集与贫化数据全域皆已消除后的原始背景全域平均值。

沉积物研究结果进行对比。图 18 是在欧洲大河入海口的采样布置。为选择欧洲作为面上的示范，应先在几条河流的入海口进行实验。现拟以德国易北河和

在荷兰入海的莱茵河或爱沙尼亚入海的涅瓦河为例。德国的 Birke 教授已来信表示愿合作。

4.2 长期规划

长期规划要在短期计划取得进展并制定出采样规范后进行。

4.2.1 第一阶段

计划采集 26 条大河入海口三角洲组合样品(图 19),这些大河的汇水盆地面积都多达数十万至数百万平方千米。它们覆盖的面积已达地球大陆面积的 40%。这项工作将是人类对周期表中几乎所有元素在地壳及上地幔分布的不均匀性或均匀性，全球矿产资源潜力及全球环境污染问题的首次全面的概括性调查。

4.2.2 第二阶段规划

计划重点采集上述 26 条大河的支流及 26 条大河以外其他汇水盆地万平方千米以上的入海河河口泛滥平原沉积物组合样及内陆盆地泛滥平原沉积物组合样进行地球化学填图。这项工作将使人类对周期表内几乎所有元素在地壳及上地幔中分布的不均匀性或均匀性，全球矿产资源潜力及全球污染问题有全面的了解。并可对人类可持续发展的全球战略

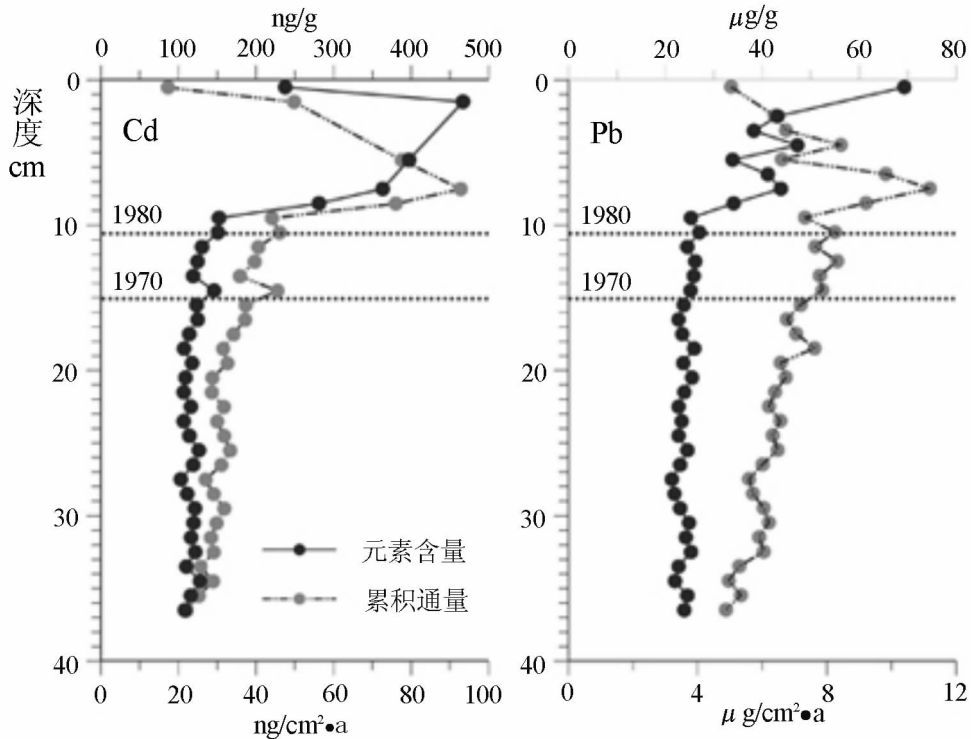


图 16 太湖 TL11 沉积物柱中元素含量变化

Fig.16 Changes of element contents in the TL11 sediment column of Taihu Lake

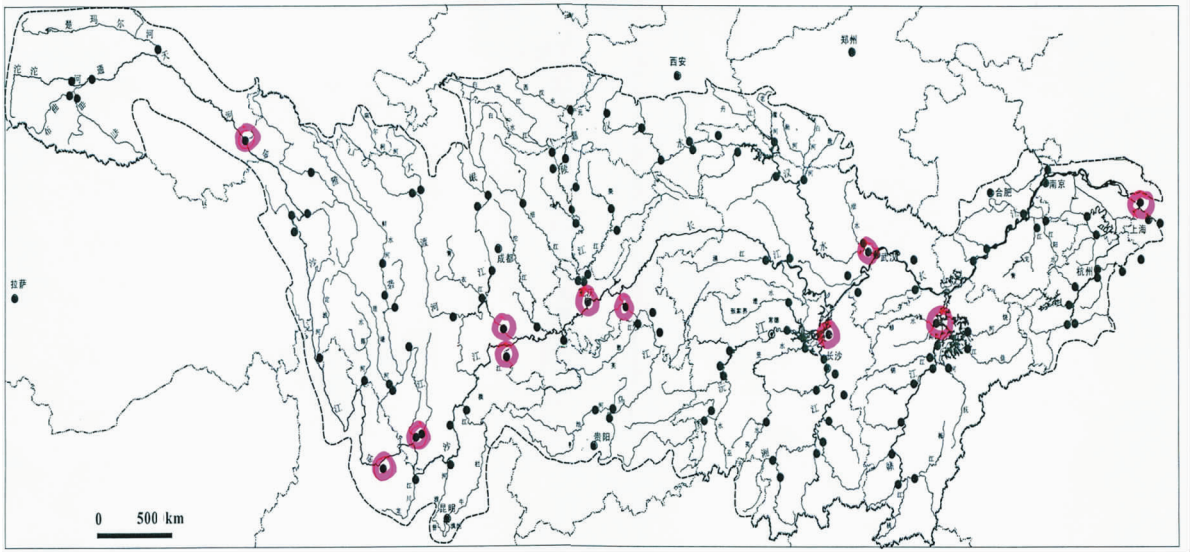


图 17 长江流域河口三角洲及一级与二级支流
河口泛滥平原沉积物组合样及水中悬浮物的采样位置

Fig.17 Sampling layout of floodplain and suspended materials within the Yangtze valley

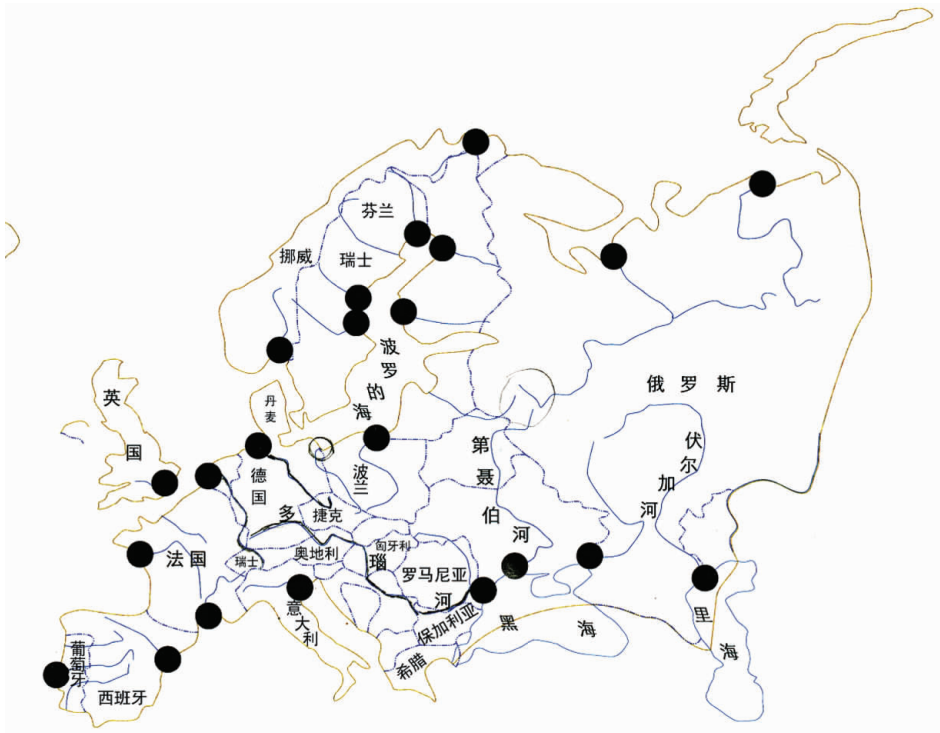


图 18 欧洲大河入海口采样部署

Fig. 18 Arrangement of sampling at the mouth of major rivers

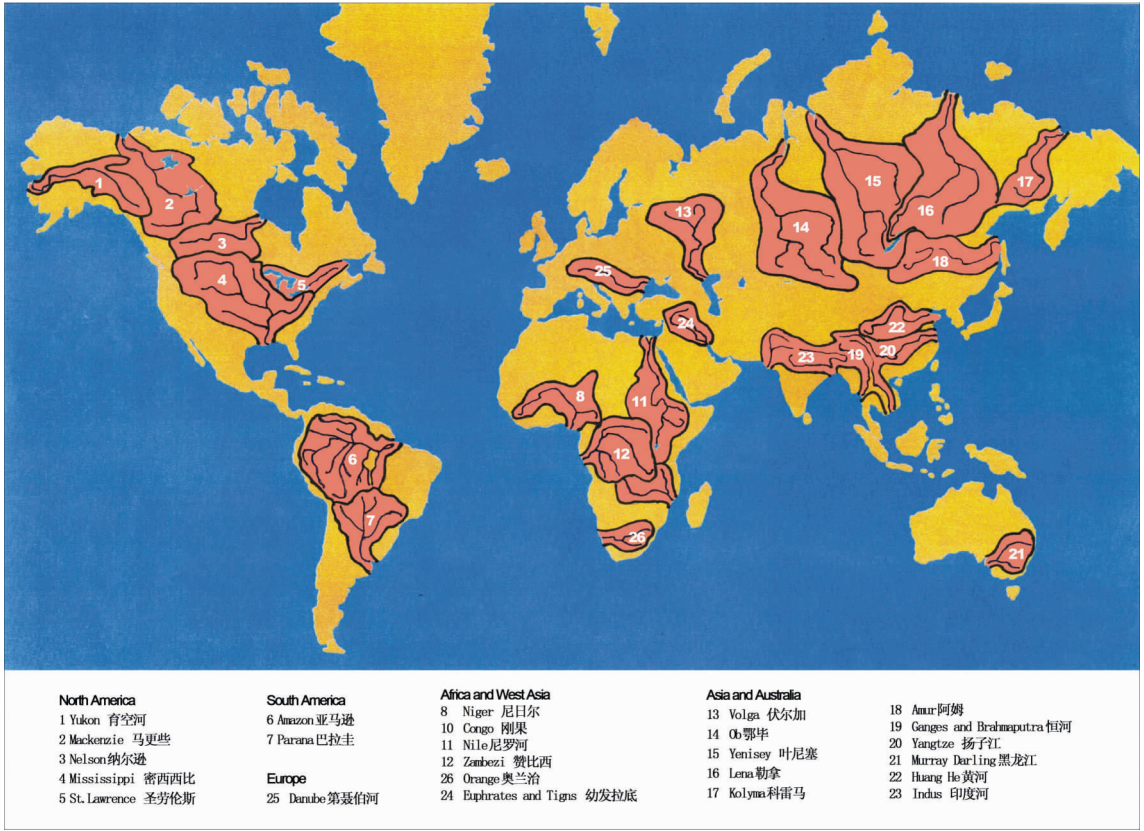


图 19 第一阶段全球采样图

Fig.19 Map showing global sampling in the first stage

决策提供重要资料,包含的主要工作如下:

- (1) 内陆盆地泛滥平原沉积物采样部署与采样方法研究;
- (2) 内陆盆地泛滥平原沉积物地球化学填图;
- (3) 非洲大河支流泛滥平原沉积物地球化学填图;
- (4) 北美洲大河支流泛滥平原沉积物地球化学填图;
- (5) 南美洲大河支流泛滥平原沉积物地球化学填图;
- (6) 东南亚大河支流泛滥平原沉积物地球化学填图;
- (7) 俄罗斯大河支流泛滥平原沉积物地球化学填图;
- (8) 中亚大河支流及内陆泛滥平原沉积物地球化学填图;

(9) 澳洲大河支流及内陆泛滥平原沉积物地球化学填图。

5 重要措施

(1) 样品采集应与有关国家合作,但分析应全部由中国国土资源系统的实验室承担,因这些数据差别细微,要求有很好重复性及可对比性,达此要求还需费用不致昂贵,这些要求国内外其他实验室都无法完全达到。只有地质系统实验室在大规模操作,快速分析,流水作业思路的指导下,进行了数十年的方法研究与操作实践才有能力达到这些要求。

(2) 建议在 2009 年 6 月在北京召开地球化学填图经验交流国际会议,邀请国内外有关人士参加。会上除介绍中国已取得的成果外,还需制定采样手册,并与有关国家代表洽谈合作事宜。

(3) 除希望国土资源部能提供全部分析研究与

短期工作经费外,还需财政部提供援外经费及向 IGCP 申请立项。欧洲或美国有关部门如愿合作,则可各自承担费用。

(4)建议国土资源部与商务部进一步合作增加援外地球化学勘查项目,以顺便完成不少大河出海口三角洲沉积物及内陆泛滥平原沉积物的极低密度采样工作。

(5)要根据短期计划取得的成果判断长期规划如何进行。是按现所述的部署,还是要作重大修改。

(6)长期计划的第二阶段何时完成有赖于世界各国有关决策者之认识与决心,经费是否到位,以及各个国家中政治与社会是否稳定。自 1815 年 W. Smith 制作第一张地质图至全球地质图的出版,用了 150 余年。现在如果环境危机的信号不断涌现,而更多国家认识到周期表中元素在全球分布对人类可持续发展有重要意义,也许就不需如此长的时间间隔。

6 结 论

(1)自然界事物往往符合分形规律。Webb 早期工作发现水系中沉积物的自然混匀作用使水系沉积物中元素可大致逼近其上游数平方千米的汇水盆地土壤中元素的均值,其后这一规律延展至数十平方千米的汇水盆地亦皆适用。英国人的研究工作表明,由于自然选分作用,在更大河道中细粒物质遭到流失,水系沉积物中已大部为长石与石英,故坚持不能在更大河口采水系沉积物样品。但中国与挪威的研究表明,在洪水期间,在选分作用很差的条件下,在大河口采集细粒的河漫滩沉积物或泛滥平原沉积物可遥测其上游数百至数千平方千米汇水盆地土壤中元素的平均值。为减少随机误差的影响,采样是在几百米至几千米范围内采集若干样品进行组合。此项发现已在中国范围内得到证实。现在的全球地球化学填图研究有望证实此项规律适用于更大的汇水盆地。

(2)近年的研究工作初步表明,在 1~10 万平方千米汇水盆地的河口泛滥平原或三角洲上,在数十至上百平方千米范围内采样组合后的分析结果,不仅可以估计整个汇水盆地内各元素的平均值,还可以预测汇水盆地内的矿产资源潜力。但这类实验研究尚需在更多地区继续进行。

(3)在面积达数十万乃至上百万平方千米的汇水盆地的大河入海口的三角洲上,在数千至上万平方千

米范围内采样能否近似估计元素在整个汇水盆地的平均值或背景平均值,尚无定论。对童霆的数据初步研究表明似乎入海口三角洲沉积物中的元素含量更接近于整个汇水盆地的背景平均值。如果今后取得全球 26 条入海大河口三角洲沉积物和悬浮物的数据,将可为全球环境本底及污染评估以及地球太初的均匀性或不均匀性提供重要资料,至于能否为全球资源潜力预测提供资料,现尚难以预料。但现所使用的采样部署,采样介质,采样方法及数据处理方法都还不成熟,还需在更多地区进行实验研究与比较。

(4)如果用统一的方法取得周期表内几乎所有元素在全球大陆的分布并可相互对比的资料,将是继门捷列夫发现元素周期表后的一件大事,这些资料在许多领域内的长远的、巨大的学术与实用价值现在还很难估计。

(5)这项工作不仅有重大的原创性、重大的学术与实用意义,还可以表明中国关心全世界人类生存环境与生存条件的实际行动。

参考文献 (References):

- [1] Dott Jr R H, Batten R L. Evolution of the Earth [M]. 4th Edition. New York:Mc Graw-Hill, P1988:25.
- [2] Webb J S, Fortescue J I, Nichol I, et al. Regional geochemical reconnaissance in the Namwala Concession area, Zambia. Geochemical Prospecting Research Centre. Technical Communication, 47, 1964:1-42.
- [3] Meyer W T, Theobald P K, Bloom H. Stream sediment geochemistry. Proceedings, Exploration 77. 1997.
- [4] Hawkes H E, Webb J S, Geochemistry in Mineral Exploration[M]. New York: Harper and Row, 1962:1-414.
- [5] Webb J S, Nichol I, Foster R, et al. Provisional Geochemical Atlas of Northern Ireland. Applied Geochemistry Research Group, Imperial College of Science and Technology, London. 1973.
- [6] Garrett R G, Reimann C, Smith D, B, et al. From geochemical prospecting to international geochemical mapping:a historical overview. Paper for IGC, 2008 (in press).
- [7] 谢学锦. 全球地球化学填图[J]. 中国地质, 2003, 30(1):1-9.
Xie Xuejin. Global geochemical mapping [J]. Geology in China, 2003, 30(1):1-9(in Chinese with English abstract).
- [8] Plant, J. 1997. Orientation studies on stream-sediment sampling for a regional geochemical survey in northern Scotland. Trans. IMM, section B, 1997, 80, B 324-B345.
- [9] Bolviken B, Bogen J, Demetriades A, et al. Regional geochemical mapping of western Europe toward the year 2000. J. Geochem. Explor, 1996;56(2):141-166.
- [10] Xie Xuejin, Cheng Hangxin, The suitability of floodplain sediment

- as a global sampling medium:evidence from China[J]. J. Geochem. Explor., 1997, 58(1):51-62.
- [11] Cheng Hangxin, Shen Xiachu, Yan Guangsheng, et al. Wide-spaced floodplain sediment sampling as a global sampling medium for international geochemical mapping [C]//Xie Xuejing (ed.). Proceedings of the 30th International Geological Congress, V. 19 - Geochemistry, Beijing China, 1996:89-109.
- [12] Darnley A G, Bjorklund A, Bolviken B, et al. A global Geochemical Database[M]. UNESCO Publishing. 1995:1-122.
- [13] Xie Xuejing, Cheng Hangxin. Global geochemical mapping and its implementation in the Asia -Pacific region [J]. Applied Geochemistry. 2004, V 16:139-1321.
- [14] Salminen R, Batista M J, Bidovec M. et al. Geochemical Atlas of Europe, Part 1. GSF, Espoo, Fin land. 2005:1-526.
- [15] Bogen J, Ottesen R. Global Geochemical Mapping and Sediment-Associated Flux of Major World Rivers. Report in Oslo Meeting (Unpub lished). 2001.
- [16] Ottesen R T, Bogen J, Bölvikén B, et al. Overbank sediment: a representative sample medium for regional geochemical mapping[J]. J. Geochem. Explor, 1989, 32:257-277.
- [17] Shen X, Yan M J. Geochem Explor, 1995, 55:231-248.
- [18] 童霆, 河口三角洲元素含量与矿产资源-以湘资源澧为例[J]. 第四纪研究, 2005, 23(3):298-304.
- Tong Ting. Element concentrations in river delta sediments and mineral resources potential in the drainage basin: a case study in the Xiangjiang, Zishui, Yuanjiang, and Lishui Rivers basins [J]. Quaternary Sciences, 2005, 23 (3):298-304 (in Chinese with English abstract).

Global geochemical mapping-Historical development and suggestions of future work

XIE Xue-jin

(Institute of Geophysical and Geochemical Exploration, Chinese Academy of Geological Sciences, Langfang 065000, Hebei, China)

Abstract: Great progress has been made in regional and national geochemical mapping. How to use extremely low-density sampling to obtain a global picture of the distribution of most elements in the periodic table in the expectable future is an important issue for applied geochemists. This will depend on the innovation of the mapping concept and developments of new sample media, sampling layout and sampling methodology. English geochemists found that the analytic results of stream sediment samples taken from estuaries of catchments covering an area of several to several dozen square kilometers approximate the average values of elements in soils in catchments in the upper reaches of the rivers. This finding has been extended by Norwegian and Chinese geochemists who analyzed samples taken from overbank and floodplain sediments at the estuaries of still larger rivers (whose catchments are several hundred, thousand and even a few dozen thousand square kilometers). Such a new finding is in accordance with the fractal concept, which may be further extended to main estuaries of some catchments with an area up to hundreds of thousands of or over a million square kilometers in the world. However, more research should be carried out. Based on this new mapping concept, a proposal of the project "Global Geochemical Mapping and Sediment-Associated Flux of Major World Rivers" was advanced.

Key words: exploration geoscience; geochemical mapping; very low-density sampling

About the first author: XIE Xue-jing, male, born in 1923, academician of the Chinese Academy of Sciences, mainly engages in the study of exploration geochemistry and environment geoscience; E-mail: xuejing@public.bta.net.cn.