

国际地球化学填图新进展

王学求^{1,2)}, 徐善法^{1,2)}, 程志中^{1,2)}, 刘红艳^{2,3)}, 师淑娟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) 中国地质科学院应用地球化学重点开放实验室, 河北廊坊, 065000; 3) 吉林大学, 长春, 130026

内容提要: 欧洲和中国在国际地球化学填图中起着积极而重要的作用, 而且进展也是最显著的。欧洲地球化学基准值填图计划于 1996 年被欧洲 26 个国家地质调查局长论坛(FOREGS) 正式批准。经过近 10 年的工作, 于 2005 年出版了电子版欧洲地球化学图集。中国不仅自己开展了多层次地球化学填图计划, 而且还与发展中国家合作开展了全球尺度和成矿带尺度地球化学填图合作。欧洲和中国无论是在全球尺度, 还是在区域尺度地球化学填图做法上都存在较大的差异。在采样介质上中国使用统一的采样介质, 在分析技术上中国使用几种大型设备作为骨干配合使用多方法分析系统; 欧洲恰恰相反, 欧洲在采样介质上趋向于多介质, 而分析技术上只使用少数几种大型设备。欧洲的做法尽管使用多介质采样获得了元素在更多天然介质中的分布信息, 但使用单一分析技术, 使得很多关键元素没有分析出来, 如贵金属元素 Ag, Au, Ir, Os, Pd, Pt, Rh, Ru; 卤族元素: F, Cl, Br, I; 分散元素: Ge, In, Se, Te; 与生命密切相关的元素: N, S, B 等。尽管欧洲强调以环境为目的, 但很多与环境密切相关的元素都没有分析, 所以欧洲的全球尺度地球化学填图的信息量大打折扣。这些不统一的做法, 特别是在全球尺度地球化学填图不统一的做法, 会影响到以后全球地球化学图的编制。

关键词: 国际; 中国; 欧洲; 地球化学填图; 全球尺度; 区域尺度

矿产资源是由化学元素组成的, 环境是受化学元素及其化合物的分布和变化制约的。因此, 以元素分布为研究对象, 对资源问题和环境问题的解决具有重要意义。地球化学填图正是研究和绘制化学元素在空间上的分布和变化, 对资源和环境问题的解决提供基础性数据和图件。地球化学图是应用地球化学的基础, 就像地质图是研究几乎所有地质问题的基础一样。Webb (1983) 在评价地球化学图时说: “这些图件为研究地球化学因素对人类、动物和植物健康的影响, 为矿产勘查和土地利用奠定了基础”。但迄今为止人类已经发现了元素周期表上 104 种元素中的 88 种元素在地壳中的存在(其他为人工合成的)。但人类至今对这 88 种元素在全球的分布知之甚少(只知道少量元素在地球某一区域的分布), 像比较系统的中国区域化探扫面计划, 也只分析了 39 种元素, 覆盖面积也只有 600 万 km² (Xie et al., 1997)。地球化学家的一个梦寐以求的理想是能够做出这 88 种元素在全球分布的地球化学图。这样我们

就会对人类所居住的行星表面元素地球化学分布有一个整体的了解, 不仅可以对全球矿产资源的总量评价和分布规律提供直接信息, 而且还会对我们人类所赖以生存的地球化学环境、工业化进程所造成的影响提供最直接的评价依据。国际地质对比计划先后于 1988 年和 1993 年将国际地球化学填图计划(International Geochemical Mapping, IGCP259) 和全球地球化学基准计划(Global Geochemical Baseline, IGCP360) 列入其中(Darnley et al., 1995)。可见地球化学填图计划得到广泛的重视。前一个计划的目的是为了制订国际地球化学填图标准化方法, 以便获得全球可对比的数据; 后一个计划的目的是制订用于全球地球化学填图的超低密度采样方法, 制作元素周期表上除了惰性气体元素和人工元素以外的所有天然元素在全球分布的地球化学图。要实现这一计划需要世界各国的参与才能完成。欧洲和中国在国际地球化学填图中起着积极而重要的作用, 而且进展也是最显著的, 因此本文主要对欧洲和中国

注: 本文为国际合作重点项目“国际地球化学填图”(编号 2005DFA21130) 和地质大调查项目“我国与周边国家地球化学块体编图与对比研究”(编号 200420130001) 资助的成果。

收稿日期: 2006-07-19; 改回日期: 2006-08-21; 责任编辑: 郝梓国。

作者简介: 王学求, 男, 1963 生。博士, 教授级高工。从事勘查地球化学与地球化学填图研究。通讯地址: 065000, 河北廊坊金光道 84 号, 中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所。Email: kwang@cnigc.cn

在国际地球化学填图近年所取得的进展做一综述, 并对中国和欧洲地球化学填图做一对比。

1 地球化学填图简介

1.1 地球化学填图的概念

“地球化学填图”是按一定规范要求, 系统采集某种天然物质, 分析元素周期表上多种元素含量, 以标准化的方法制作元素空间变化的各种比例尺地球化学图, 为基础地质、矿产勘查、环境、农业、人类健康等提供基础资料。地球化学填图与地球化学探矿和地球化学勘查是有区别的, 区别在于地球化学探矿目标单一, 就是找矿; 地球化学勘查目标虽然是多样的, 可以是勘查矿产, 也可以是勘查环境; 而地球化学填图强调的是标准化的方法, 成果表达以图件的形式出现, 目标是多样的。

地球化学填图是多层次的, 包括全球尺度、国家尺度和区域尺度。不同尺度地球化学填图是通过不同的采样密度, 解决不同层次的问题(Wang, 2005)。

1.2 区域与国家尺度地球化学填图

区域与国家尺度地球化学填图(regional/national geochemical mapping)没有严格的界定, 一般区域地球化学填图, 也同时是一个国家的地球化学填图。采样密度一般在 1 个样/ km^2 到 1 个样/ $n \times 100\text{km}^2$ 。1973 年英国出版了“北爱尔兰地球化学图集”(Webb et al., 1973), 1978 年出版了“Wolfson 英格兰和威尔士地球化学图集”(Webb, 1978)。这两个图集的出版对应用地球化学具有划时代的意义。从 1973 年至今的 30 余年时间里, 全世界已经完成的区域或国家地球化学填图计划有 50 余项。开始于 70 年代末的中国 1: 20 万区域化探全国扫面计划, 就是区域尺度的地球化学填图计划(谢学锦, 1978)。

1.3 国际/全球地球化学填图计划

国际地球化学填图计划(International Geochemical Mapping)于 1986 年提出, 1988 年被列入国际教科文组织和国际地科联所创立的国际地质对比计划 IGCP259(Darnley et al., 1995)。这一计划的目的是为了制订国际地球化学填图标准化的方法, 以便获得全球可对比的数据。要获得全球可对比的数据, 有两个技术性难题: 一是采集什么样品能够具有代表性; 二是对元素周期表上难分析元素分析方法选择和标准样的研制和分析质量监控。国际上就这些问题进行了长达 5 年的讨论, 存在严重分歧。中国的谢学锦院士, 芬兰的 A. Björklund 与挪威的 B.

Boviken 博士建议使用泛滥平原沉积物采样或河漫滩采样作为全球地球化学填图的统一采样介质, 用极低密度采样覆盖全球, 迅速制作全球地球化学图。根据这一建议, 于 1993 年国际地球化学填图计划(IGCP259)的后续计划, 全球地球化学基准计划(Global Geochemical Baseline)被列入国际地质对比计划(IGCP360)。这一计划的目的是将全球分成 5000 个采样格子, 每个格子大小是 $160\text{ km} \times 160\text{ km}$, 在每个格子中采集 1 个组合样, 用 5000 个样品覆盖全球, 制作元素周期表上除了惰性气体和人工元素以外的所有天然元素在全球分布的地球化学图(谢学锦, 1978)。要实现这一计划需要世界各国的参与才能完成。中国从 1994~1996 年在谢学锦院士领导下使用泛滥平原沉积物作为采样介质, 在中国采集了 500 余件样品制作了具有 54 个元素的地球化学图(Darnley et al., 1995)。并与原来的 1: 20 万区域化探扫面的平均值数据所做的地球化学图进行了对比, 得出高度相似性的结论, 证明了使用泛滥平原沉积物作为全球地球化学填图采样介质是可行的(Xie and Cheng, 2001)。

2 欧洲地球化学填图的最新进展

作为全球地球化学基准值计划在欧洲的实施, 欧洲地球化学基准值填图计划(FOREGS Geochemical Baseline Mapping Programme)于 1996 年被欧洲 26 个国家地质调查局长论坛(FOREGS)正式批准。这一计划的主要目的: 一是使用标准化的采样、分析和数据处理方法制作全欧洲的地球化学图, 二是将这些参考网络数据作为欧洲各个国家基准值数据库的标准(Plant et al., 1997; Salminen, 2005a, 2005b)。

2.1 采样

按照全球参考网格(Global Reference Network, GRN), 每个格子大小是 $160\text{ km} \times 160\text{ km}$, 在每个格子里布置 5 个采样点。在欧洲(除俄罗斯以外)的 420 万 km^2 共部署 808 个采样点, 平均每 4700 km^2 部署 1 个采样点, 每个采样点上采集了河水、水系沉积物、土壤样品、腐殖质、河漫滩沉积物, 同时在 750 个点上采集了泛滥平原沉积物样品(Salminen, 2005a)。

2.2 样品分析

为了保证数据的一致性和避免实验室之间的分析偏差, 所有土壤和沉积物的样品都在同一个实验室制备, 某一种元素都在同一实验室使用同一种方

表 1 欧洲地球化学填图所分析的元素及检出限
Table 1 Summary of all elements in the Foregs Atlas for each sample media and the limit of quantification

元素	土壤(μg/ g)	沉积物(μg/ g)	腐殖物(μg/ g)	河水(μg/ L)
A g	0. 01	—	—	0. 002
Al/ Al ₂ O ₃	0. 05%	0. 1%	—	0. 1
A s	0. 2	1	—	0. 01
B	—	—	—	0. 01
Ba	5	3	1	0. 005
Be	2	0. 02	—	0. 005
Bi	0. 5	—	—	0. 002
Ca/ CaO	0. 01%	0. 05%	—	0. 001mg/ L
Cd	0. 01	0. 02	0. 1	0. 002
Ce	0. 15	0. 02	—	0. 002
Co	3	2	0. 1	0. 005
Cr	3	3	—	0. 01
Cs	0. 5	4	—	0. 002
Cu	0. 01	1	0. 3	0. 005
Dy	0. 1	0. 02	—	0. 002
Er	0. 1	0. 02	—	0. 002
Eu	0. 05	0. 02	—	0. 002
Fe/ Fe ₂ O ₃	0. 01%	0. 01%	—	1
Ga	0. 2	1	0. 1	0. 002
Gd	0. 1	0. 02	—	0. 002
Ge	—	—	—	0. 005
Hf	0. 2	0. 05	—	0. 002
Hg	0. 0001	0. 0001	0. 0001	—
Ho	0. 02	0. 02	—	0. 002
I	2	—	—	0. 01
In	0. 01	—	—	0. 002
Li	—	0. 05	—	0. 005
Lu	0. 02	0. 02	—	0. 002
Mg/ MgO	0. 01%	0. 1%	—	0. 001 mg/ L
Mn/ MnO	0. 001%	0. 01%	—	0. 05
M o	0. 1	0. 05	—	0. 002
Na/ Na ₂ O	0. 01%	0. 2%	—	0. 005 mg/ L
Nb	0. 1	1	—	0. 002
Nd	0. 15	0. 02	—	0. 005
Ni	2	1	0. 3	0. 005
P ₂ O ₅	0. 001%	0. 01%	—	—
Pb	3	1	0. 5	0. 005
pH	—	—	—	—
Pr	0. 1	0. 02	—	0. 002
Rb	2	1	0. 2	0. 002
S	—	—	—	—
Sb	0. 02	0. 02	—	0. 002
Sc	0. 5	—	—	—
Se	—	—	—	0. 01
SiO ₂	0. 1%	0. 1%	—	0. 01 mg/ L
Sm	0. 1	0. 02	—	0. 002
Sn	2	1	—	—
Sr	2	1	1	0. 001 mg/ L
T a	0. 05	0. 05	—	0. 002
T b	0. 02	0. 02	—	0. 002
T e	0. 02	—	—	0. 005
Th	0. 1	1	—	0. 002

续表 1				
元素	土壤(μg/ g)	沉积物(μg/ g)	腐殖物(μg/ g)	河水(μg/ L)
Ti/ TiO ₂	0. 001%	0. 005%	—	0. 01
Tl	0. 01	0. 02	—	0. 002
T m	0. 02	0. 02	—	0. 002
U	0. 1	1	—	0. 002
V	0. 5	2	—	0. 05
W	5	0. 05	—	0. 002
Y	3	0. 02	—	0. 002
Yb	0. 05	0. 02	—	0. 002
Zn	3	1	1	0. 01
Zr	3	1	—	0. 002
EC	—	—	—	—
HCO ₃ ⁻	—	—	—	—
Br ⁻	—	—	—	0. 01 mg/ L
Cl ⁻	—	—	—	0. 1 mg/ L
F ⁻	—	—	—	0. 05 mg/ L
NO ₃ ⁻	—	—	—	0. 04 mg/ L
SO ₄ ²⁻	—	—	—	0. 3 mg/ L
DOC	—	—	—	0. 5mg/ L
TOC	0. 01%	0. 01%	—	—

法分析(见表 1, Salminen, 2005a)。所有样品制备由斯洛伐克地质调查局完成, 样品分析由德国、英国、法国、斯洛伐克、芬兰、匈牙利、荷兰、挪威、波兰 9 个实验室完成。

2.3 地球化学图

共制作出 360 张 1 2500 万地球化学图, 出版了欧洲地球化学图集(电子版) (Salminen, 2005a)。结果表明元素的地球化学分布模式与下列因素有关: ①欧洲的大地构造单元; ②大的地层单元; ③冰积物的分布; ④工业污染; ⑤农业密集区。图 1 是汞在土壤表层的分布。高含量分布于发达的英国—德国—意大利北部一带(Salminen, 2005b)。

3 中国与发展中国家合作地球化学填图的新进展

3.1 中国的地球化学填图计划

1978 年开始的中国 1 20 万区域化探全国扫面计划, 是在山区和丘陵地带进行的, 主要目标是矿产勘查(谢学锦, 1978)。使用水系沉积物作为采样介质, 采样密度为 1 个样/ km², 使用高灵敏度和高精度定量方法分析了 39 种元素, 已经覆盖了全国 600 万 km², 取得了丰富的经验(Xie et al., 1997)。

1993 年开始实施的中国“环境地球化学监控网络与动态地球化学填图计划”作为 IGCP- 360 的试验性研究项目, 发现泛滥平原沉积物样品最能反映如此巨大面积元素的平均分布规律, 并具有普遍

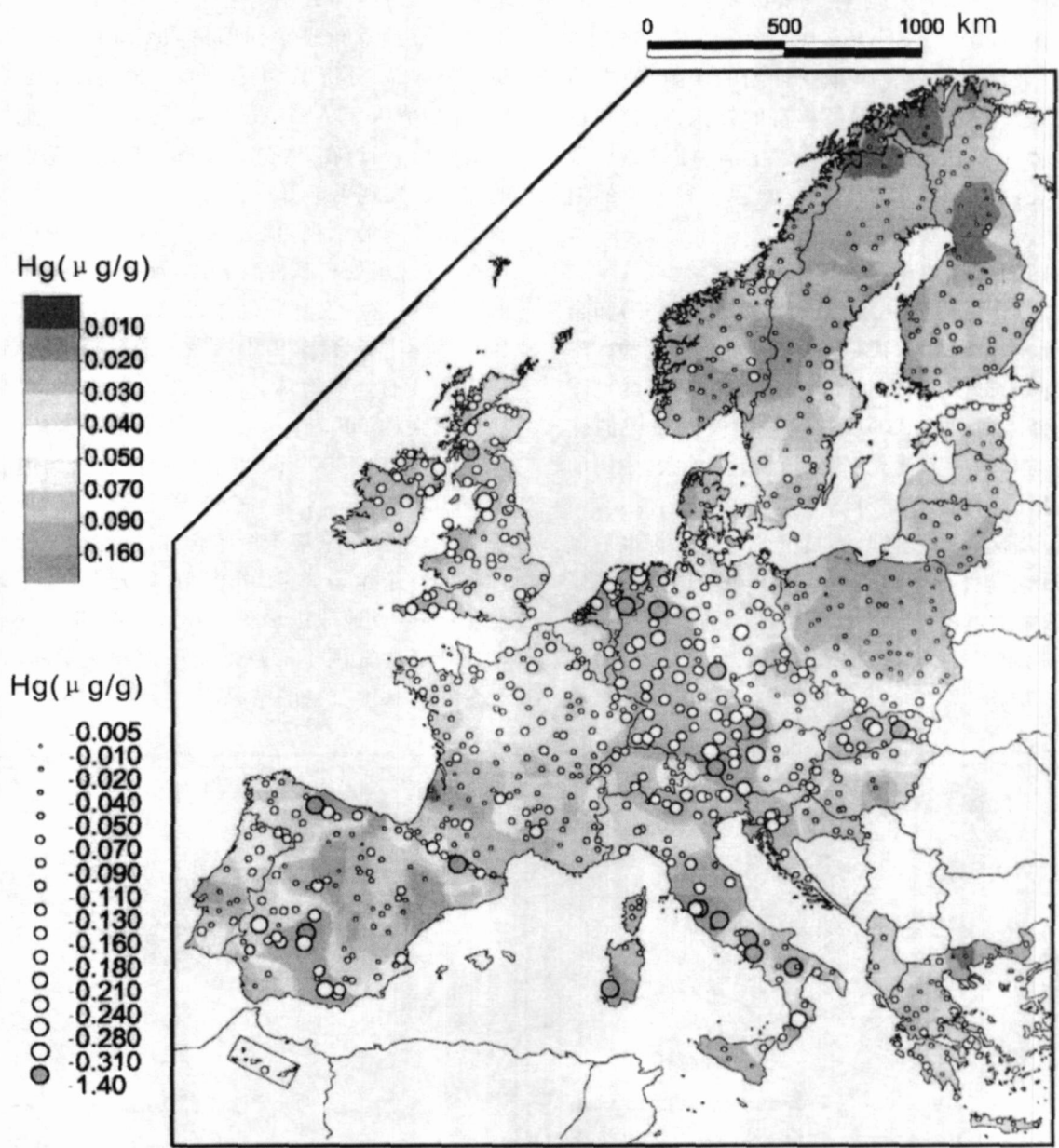


图 1 欧洲土壤表层中汞的地球化学图 (据 Salminen, 2005b)

Fig. 1 Hg distribution in topsoils across Europe (after Salminen, 2005b)

的适用性。因此泛滥平原沉积物可以作为全球地球化学填图的首选采样介质(Xie and Cheng, 1997)。

1999 年开展的“川滇黔桂 4 省区 76 种元素地球化学填图试点研究”,利用原来 1:20 万区域化探扫面样品,将每一个 1:5 万图幅(大约 400km²)组成 1 个样品,联合了 8 家实验室分析了周期表上 76 种元素,制作了 130 余万 km² 76 种元素地球化学图(谢学锦等,2003)。这是人类历史上首次制作了元素周期表上除惰性气体元素和人工元素以外的几乎所有元素地球化学图。

1999 年开展的“东天山深穿透地球化学调查与研究”项目,每一个 1:2.5 万图幅(大约 100 km²)采集 1 个疏松物细粒级样品,制作了东天山(涵盖吐哈盆地) 16 万 km² 33 种元素地球化学图(王学求,2001;王学求等,2002)。这也是首次开展大规模涵盖盆地的地球化学填图。

2000 年开始实施的多目标地球化学调查计划,是在平原区进行的,主要目标是为环境和农业服务。使用土壤作为采样介质,采样密度一般为地表 1 个样/4 km²,深部 1 个样/16 km²,使用高灵敏度和高

精度定量方法分析了 52 种元素以及有机碳和 pH 值(谢学锦等, 2002; 奚小环, 2003)。

这些大规模地球化学填图计划的实施, 使中国在地球化学填图领域积累了丰富的知识、经验和技
术, 是世界上公认的无论在地球化学填图思想、理
论, 还是在经验和技术上都处于国际领先地位的国
家。

3. 2 中国的国际地球化学填图合作

中国是国际地球化学填图计划(IGCP259) 和全
球地球化学填图计划(IGCP360) 的发起者之一。中
国在国际地球化学填图计划(IGCP259) 和全球地球
化学填图计划(IGCP360) 中起着积极而关键的作
用, 并且与其他国家建立了良好的合作关系。中国的
国际地球化学填图合作可以分为三个层次:

第一层次: 技术培训、人员交流与技术标准的制
定。先后为南美、非洲和亚洲等 40 余个国家举办了
5 次地球化学填图培训班。根据不同国家的地理景
观特点, 制定了有针对性地采样方法和技术标准。

第二层次: 开展全球尺度地球化学填图合作示

范研究。1997 年开始与巴西合作, 在巴西 Parana 州
参照全球地球化学采样网格, 每 40 km × 40 km 采
集 1 个样品, 分析了 71 种元素。圈出的东北向规模
巨大的 Pt-Pd-Cu-Ni-Au 异常(图 2)。这一地区是巨
大的火山岩省, 在此之前, 没有人指出超基性杂岩体
的存在。发现了 Pt-Pd-Cu-Ni-Au 异常后, 引起了巴
西地质学家的重视, 他们在这一异常范围内经认真
检查, 发现多处超基性杂岩体, 预示了存在 Pt-Pd 矿
的可能性, 这一发现震动了巴西地质界。2001 年开
始与哥伦比亚合作, 由中国专家进行技术指导, 按照
IGCP360 的全球地球化学填图计划要求, 将全球陆
地分成大约 5000 个采样格(每个格子大约 160 km
× 160 km = 25600 km²), 落在哥伦比亚境内有大约
50 个采样格子, 将每一个采样格子分成 16 个子格
子, 每个子格子采集 1 个组合样品, 整个哥伦比亚大
约有 800 个组合样品, 分析 76 种元素, 制作哥伦比
亚 1:500 万地球化学图。截至 2004 年已完成了哥
伦比亚近 1/3 国土的超低密度地球化学填图, 取得
了令哥方高度赞扬的结果。

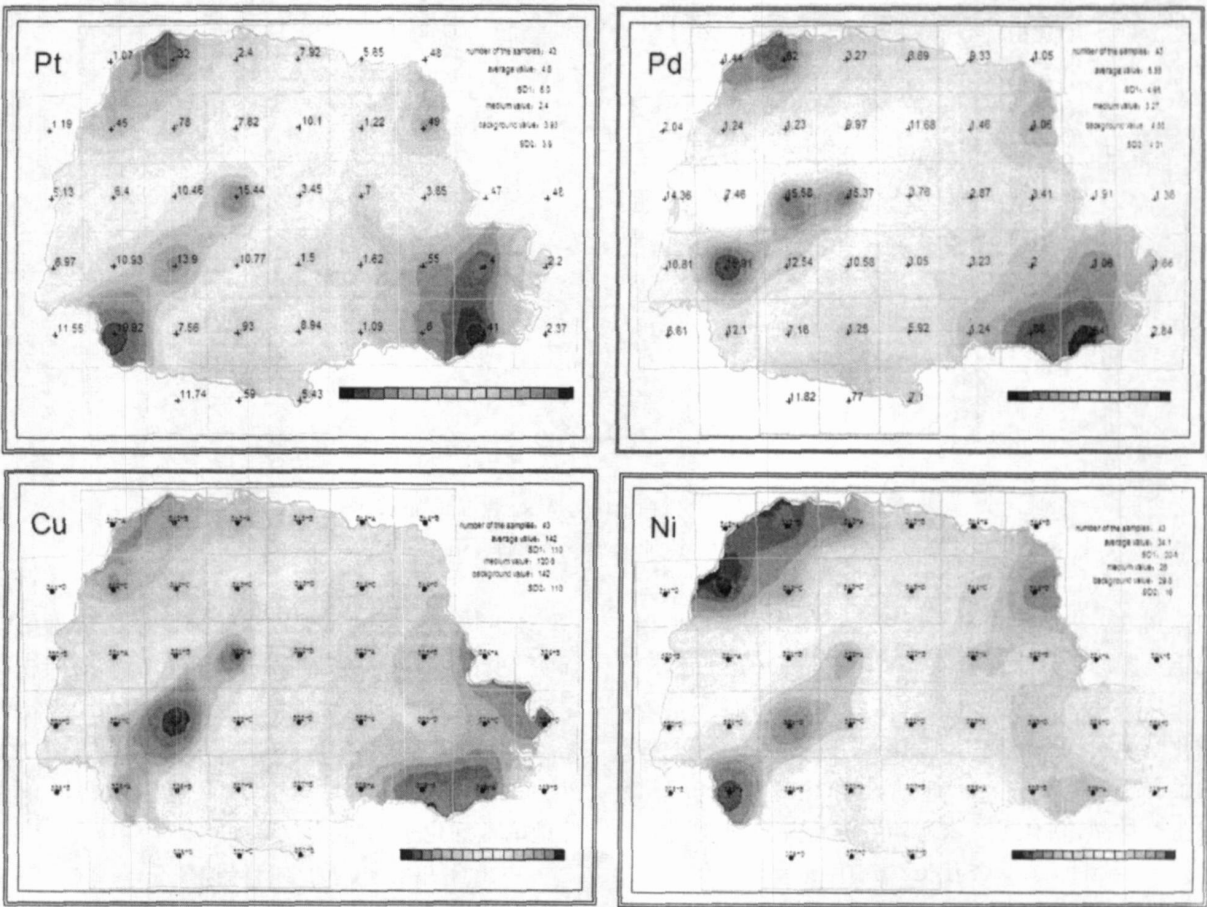


图 2 巴西 Parana 州地球化学图

第三层次: 成矿带尺度地球化学填图合作。2003 年开始中国与哈萨克斯坦合作, 在跨越中哈两国边界天山成矿带哈萨克斯坦一侧(楚-伊犁成矿带), 由哈方按 10km × 10 km 采样网格采集水系沉积物样品, 中方分析了 71 种元素, 制作了 1:100 万地球化学图。目前已完成了 7 万 km²。地球化学填图示范不

仅很好地圈定了已知石英脉型金矿床成矿带, 还首次发现了楚-伊犁黑色岩系中微粒金与铂矿化, 金的含量达 14.25~3085 ng/g, 铂含量为 11.2 ng/g。据此发现哈萨克斯坦地质学家提出了楚-伊犁成矿带的黑色岩系为裂谷成因, 并且具有寻找裂谷成因有关的黑色岩系型金铂钯矿的理论(亚采娃等, 2004)。

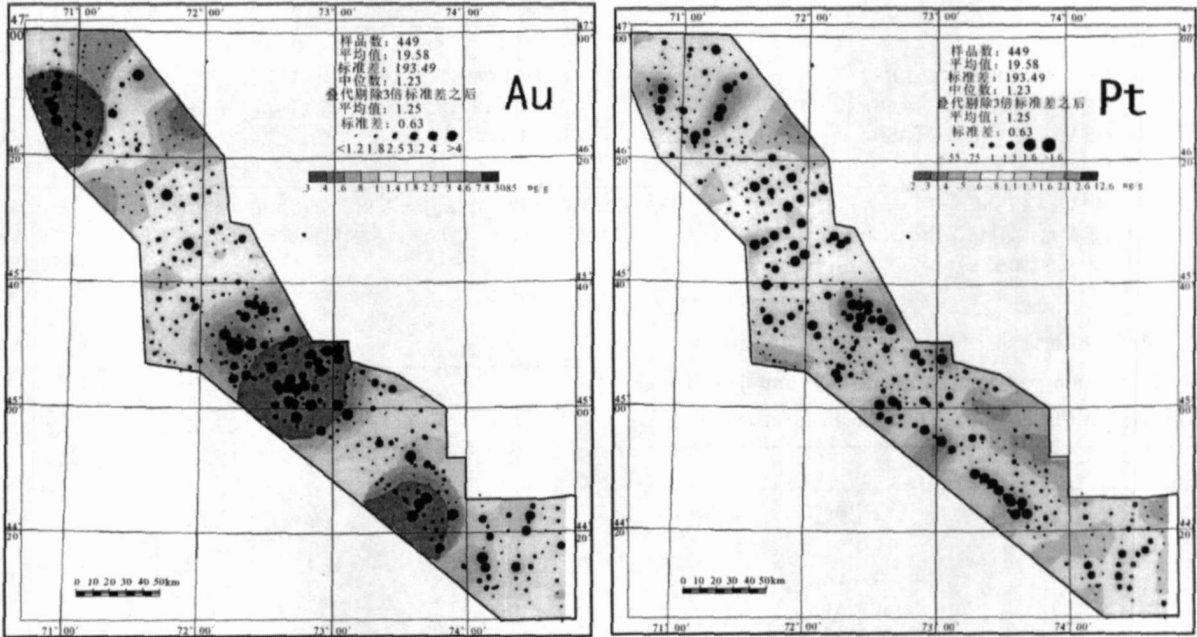


图 3 哈萨克斯坦楚-伊犁成矿带 Au、Pt 地球化学图
Fig. 3 Geochemical maps of Au and Pt in Chu-Ili region

4 中欧地球化学填图比较

4.1 方法技术比较

表 2 是中国与欧洲国家在全球尺度地球化学填图和区域或国家尺度地球化学填图所使用的采样介质和分析技术比较。无论是全球尺度, 还是区域尺度地球化学填图, 在采样介质上中国使用统一的采样介质, 而在分析技术上中国倾向于使用多方法分析; 而欧洲恰恰相反, 欧洲在采样介质上趋向于多介质, 而在分析技术上, 使用少数几种大型设备。为什么在世界上具有代表性的两个地区, 会出现如此大的反差? 原因主要有两点: 一是欧洲强调多介质, 是因为欧洲填图, 更关心的是环境和生态, 而水、土壤、腐殖土与环境生态关系更为密切; 二是欧洲使用单一的几种大型分析仪器是因为欧洲的劳动力成本太高。欧

洲的做法尽管使用多介质获得了元素在更多天然介质中的分布信息, 但使用单一分析技术, 使得很多元素没有分析出来, 丢失了大量信息。

4.2 中国与欧洲全球尺度地球化学填图分析方法与检出限对比

表 3 是中国和欧洲在全球尺度地球化学填图中使用的分析方法和检出限对比。欧洲很多关键元素没有分析, 如贵金属元素 Ag, Au, Ir, Os, Pd, Pt, Rh, Ru; 卤族元素: F, Cl, Br, I; 分散元素: Ge, In, Se, Te; 与生命密切相关的元素: K₂O, N, S, B; 其他元素: La, Bi, Sc。尽管欧洲强调以环境为目的, 但很多与环境密切相关的元素都没有分析, 所以欧洲的全球尺度地球化学填图的信息量大打折扣。中欧不统一的作法将会为未来利用这些数据编制全球地球化学图埋下隐患。

表 2 中欧地球化学填图方法比较

Table 2 Comparison of methods used in China and Europe geochemical mapping

	全球尺度		区域或国家尺度	
	中国	欧洲	中国	欧洲
采样介质	统一介质: 泛滥平原沉积物	多介质: 河水、水系沉积物、土壤、腐殖土、泛滥平原沉积物	统一介质: 水系沉积物(区域化探扫面), 土壤(多目标地球化学填图)	多介质: 水系沉积物、土壤、冰积物、河水
采样部署	几千 km ² 大汇水盆地	< 100 km ² 的汇水盆地	1 个样/1 或 4km ² 1 个样/ _n × 10 km ²	各国不一样
分析方法	多方法: ES, ICP-MS, ICP-AES, XRF, HG-AFS, AAS, GFAAS, POL, VOL, ISE, COL, LF	4 种大型设备: ICP-MS, ICP-AES, XRF, AAS	ES, ICP-MS, ICP-AES, XRF, HG-AFS, AAS, GFAAS, POL, VOL, ISE, COL, LF	各国不一样

注: ES—发射光谱法; ICP-MS—等离子体质谱法; ICP-AES—等离子原子发射光谱法; XRF—X 射线荧光光谱分析法; HG-AFS—氢化物发生—非色散原子荧光光谱法; AAS—火焰原子吸收法; GFAAS—石墨炉原子吸收法; POL—催化波极谱法; VOL—容量法; ISE—离子选择性电极法; COL—分光光度法; LF—激光荧光法。

表 3 中国与欧洲地球化学填图分析方法与检出限对比

续表 3

Table 3 Summary of analytical methods and detection limits used in China and Europe geochemical mapping

元素	检出限		方法	
	中国	欧洲	中国	欧洲
Ag	0.02 0.005	—	ES GF-AAS	—
Al ₂ O ₃	0.001(× 10 ⁻²) 0.0049(× 10 ⁻²)	0.1(× 10 ⁻²)	ICP-AES XRF	XRF
As	0.069	1	HG-AFS	XRF
Au	0.02(ng/ g)	—	GFAAS	—
B	1.0	—	ES	—
Ba	0.57	3	ICP-MS	XRF
	1.5		ICP-AES	
	20		XRF	
Be	0.009	0.02	ICP-MS	ICP-MS
	0.044		ICP-AES	
Bi	0.010	—	ICP-MS	—
	0.042		HG-AFS	
Br	0.3	—	XRF	—
C	0.08(× 10 ⁻²) 0.005(× 10 ⁻²)	—	VOL ICP-AES	Carbon Analyser
CaO	0.00054(× 10 ⁻²)	0.05(× 10 ⁻²)	XRF	XRF
Cd	0.02	0.02	ICPW-MS	ICP-MS
	0.05		GF-AAS	
Ce	0.27	0.02	ICP-MS	ICP-MS
	0.24		ICP-AES	
Cl	5.8	—	XRF	—
	0.01		ICP-MS	
Co	0.55	2	ICP-AES	XRF
	0.7		XRF	
	4.0		ICP-MS	
Cr	3.6	3	ICP-AES	XRF
	1.7		XRF	
Cs	0.003	4	ICP-MS	XRF
			ICP-MS	
Cu	1.5	1	ICP-AES	XRF
	1.2		XRF	
Dy	0.03	0.02	ICP-MS	ICP-MS
	0.04		ICP-AES	
Er	0.033	0.02	ICP-MS	ICP-MS
	0.06		ICP-AES	
Eu	0.007	0.02	ICP-MS	ICP-MS
	0.03		IC-AES	
F	52	—	ISE	—
	0.003(× 10 ⁻²)		ICP-AES	
Fe ₂ O ₃	0.0006(× 10 ⁻²)	0.01(× 10 ⁻²)	XRF	XRF
	0.06		ICP-MS	
Ga	0.9	1	XRF	XRF
	0.03		ICP-MS	
Gd	0.06	0.02	IC-AES	ICP-MS
	0.02		HG-AFS	
Ge	0.02	—	ICP-MS	—
Hf	0.030	0.05	ICP-MS	ICP-MS
Hg	0.0005	0.0001	CV-AFS	Mercury analyser
Ho	0.008	0.02	ICP-MS	ICP-MS
	0.06		ICP-AES	
I	0.15	—	COL	—
In	0.002	—	ICP-MS	—
Ir	0.02ng/ g	—	FA-ICP-MS	—
K ₂ O	0.076(× 10 ⁻²)	—	ICP-AES	—
	0.00045(× 10 ⁻²)		XRF	
La	0.25	—	ICP-MS	—
	0.10		ICP-AES	
Li	7.8	0.05	XRF	ICP-MS
	0.10		ICP-MS	
Li	1	0.05	ICP-AES	ICP-MS
	1		ICP-AES	

续表 3

元素	检出限		方法	
	中国	欧洲	中国	欧洲
Lu	0. 007 0. 02	0. 02	ICP-MS ICP-AES	ICP-MS
MgO	0. 003(× 10 ⁻²) 0. 0028(× 10 ⁻²)	0. 1(× 10 ⁻²)	ICP-AES XRF	XRF
Mn	0. 000023(× 10 ⁻²) 0. 00066(× 10 ⁻²)	0. 01 (× 10 ⁻²)	ICP-AES XRF	XRF
Mo	0. 014 0. 073 0. 2	0. 05	ICP-MS ES POL	ICP-MS
N	10	-	VOL	-
Na ₂ O	0. 045(× 10 ⁻²) 0. 0033(× 10 ⁻²) 0. 024	0. 2(× 10 ⁻²)	ICP-AES XRF ICP-MS	XRF
Nb	1. 92 1. 3	1	ICP-AES XRF	XRF
Nd	0. 089 0. 09	0. 02	ICP-MS ICP-AES	ICP-MS
Ni	0. 49 0. 76 1. 1	1	ICP-MS ICP-AES XRF	XRF
Os	0. 02ng/ g	-	FA-ICP-MS	-
P ₂ O ₅	0. 0013(× 10 ⁻²) 0. 00089(× 10 ⁻²) 0. 91	0. 01 (× 10 ⁻²)	ICP-AES XRF ICP-MS	XRF
Pb	0. 37 3. 1	1	ES XRF	XRF
Pd	0. 2ng/ g	-	FA-ICP-MS	-
Pr	0. 016 0. 08	0. 02	ICP-MS ICP-AES	ICP-MS
Pt	0. 2ng/ g	-	FA-ICP-MS	-
Rb	0. 16 1. 1	1	ICP-MS XRF	XRF
Rh	0. 02ng/ g	-	FA-ICP-MS	-
Ru	0. 01ng/ g	-	FA-ICP-MS	-
S	2. 2	-	XRF	-
Sb	0. 026 0. 028 1. 3	0. 02	ICP-MS HG-AFS ICP-MS	ICP-MS
Sc	2. 9	-	XRF	-
Se	0. 0057	-	HG-AFS	-
SiO ₂	0. 0038(× 10 ⁻²) 0. 029	0. 1(× 10 ⁻²)	XRF ICP-MS	XRF
Sm	0. 05	0. 02	ICP-AES	ICP-MS
Sn	0. 6 2. 2	1	ES ICP-MS	XRF
Sr	0. 13 1. 0	1	ICP-AES XRF	XRF
Ta	0. 003	0. 05	ICP-MS	ICP-MS
Tb	0. 015 0. 04	0. 02	ICP-MS ICP-AES	ICP-MS
Te	0. 005	-	ICP-MS	-

续表 3

元素	检出限		方法	
	中国	欧洲	中国	欧洲
Th	0. 006 0. 5	1	ICP-MS XRF	XRF
TiO ₂	0. 00056(× 10 ⁻²) 0. 00067(× 10 ⁻²)	0. 005 (× 10 ⁻²)	ICP-AES XRF	XRF
Tl	0. 004	0. 02	ICP-MS	ICP-MS
Tm	0. 006 0. 03 0. 013	0. 02	ICP-MS ICP-AES ICP-MS	ICP-MS
U	0. 05 5. 9	1	LF ICP-MS	XRF
V	1. 1 0. 8 0. 015	2	ICP-AES XRF ICP-MS	XRF
W	0. 3 0. 23	0. 05	POL ICP-MS	ICP-MS
Y	0. 6 0. 06 0. 033	0. 02	XRF ICP-AES ICP-MS	ICP-MS
Yb	0. 03 2. 2	0. 02	ICP-AES ICP-MS	ICP-MS
Zn	1. 4 1. 8	1	ICP-AES XRF	XRF
Zr	0. 9	1	XRF	XRF

注: 以上各元素含量单位除标明外, 其余均为 μg/g; CV-AFS—冷蒸气-原子荧光法; FA-ICP-MS—硫镍试金-分离富集-离子体质谱法(其他同表 2)。

参 考 文 献

王学求. 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 ~ 206.

王学求, 程志中, 迟清华, 孙宏伟. 2002. 吐哈盆地砂岩型铀矿战略性地球化学调查与评价. 地质与勘探, 38: 148 ~ 151.

谢学锦. 1978. 区域化探全国扫面规划. 物化探研究报告, (3): 28 ~ 36.

谢学锦, 叶家瑜, 鄢明才, 周国华. 2003. 川滇黔桂 76 种元素地球化学图编制中分析方法与分析质量研究(三): 考核不同实验室分析质量的新方法. 地质通报, 22(1): 1 ~ 11.

谢学锦, 周国华. 2002. 多目标地球化学填图及多层次环境地球化学监控网络. 地质通报, 21(12):

奚小环. 2003. 1999 ~ 2001 勘查地球化学资源与环境. 物探与化探, 27(1): 1 ~ 6.

亚采娃 L A, 帕基契夫 V M, 波尔考娃 T A, 库谢尔瓦耶夫 L. 2004. 新一代小比例尺地球化学图在楚-伊犁成矿带所揭示的 Pt 和 Au 成矿信息. 矿产勘查地球化学——理论、方法与应用. 阿拉木图, 160 ~ 168(原文为俄文) .

Darnley A G, Bjoklund 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. Earth Science 19, UNESCO Publishing. Ottawa: Jacqueline Elsmore and Susan Davis, 122.

Plant J A, Klaver G, Locutura J, Salminen R, Vrana K, Fordyce F. 1997. The Forum of European Geological Surveys Geochemistry

Task Group inventory 1994 ~ 1996. Journal of Geochemical Exploration, 59: 123 ~ 146.

Salminen R (chief editor). 2005. Foregs Geochemical Atlas of Europe, part 1—background information, methodology, and maps. Electric publication, URL address: <http://gtk/publ/foregsatlas>, march 15, 2005.

Salminen R. 2005. Continental-wide geochemical mapping in Europe. Explore, 127: 8 ~ 15.

Wang Xueqiu. 2005. National and global scale geochemical mapping for mineral exploration and assessment in China. Explore, 127: 23 ~ 30.

Webb J S. 1983. Foreword in Applied Environmental Geochemistry. Edited by Thornton I. London, Academic Press, 528.

Webb J S. 1978. The Wolfson Geochemical Atlas of England and Wales. Oxford: Oxford University Press.

Webb J S, Nichol I, Foster R. 1973. Provisional Geochemical Atlas of Northern Ireland. London: Applied Geochemistry Research Group, Imperial College of Science and Technology.

Xie Xuejing, Cheng Hangxin, 1997. The suitability of floodplain sediments as a global sampling medium: evidence from China. Journal of Geochemical Exploration, 58(1): 51 ~ 62.

Xie Xuejing, Cheng Hangxin, 2001. Global geochemical mapping and its implementation in the Asia-Pacific region. Applied Geochemistry, 16, 1309 ~ 1321

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

Progress on International Geochemical Mapping

WANG Xueqiu^{1,2)}, XU Shanfa^{1,2)}, CHENG Zhizhong^{1,2)}, LIU Hongyan^{2,3)}, SHI Shujuan²⁾

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

2) Key Laboratory for Applied Geochemistry, CAGS, Langfang, Hebei, 065000; 3) Jilin University, Changchun, 130026

Abstract

Both China and Europe have played the most important role in the InterNational and Global Geochemical Mapping. The Europe Geochemical Baseline Mapping Program was approved in 1996 by the Forum of European Geological Surveys' Directors (FOREGS). The FOREGS atlas was published via internet in 2005. China has not only carried out different scale geochemical mapping programs in China territory but also conducted international cooperation on global and regional scale geochemical mapping projects with developing countries. Different approaches are adopted for both global and regional geochemical mapping by China and Europe. The main differences are in that China sampled uni-medium and Europe sampled multi-media, China used large-scale instruments as a backbone with multi-methods analytical system and Europe only used large-scale instruments analytical system. Multi-media sampling used in Europe has obtained more information of elemental distribution in more natural materials, but it provided less element information because some key elements are not determined such as precious metals: Ag, Au, Ir, Os, Pd, Pt, Rh, Ru, halogen elements: F, Cl, Br, I, dispersion elements: Ge, In, Se, Te, bio-available elements: N, S, B, and other elements: La, Bi, Sc. This difference may cause problems with compiling the whole global geochemical atlas.

Key words: international; China; Europe; geochemical mapping; global scale; regional scale

地震相关的软沉积物构造变形及其在盆地演化中的意义

吕洪波¹⁾, 章雨旭²⁾, 张绮玲³⁾, 肖加飞⁴⁾

1) 中国石油大学地球科学系, 山东东营, 257062; 2) 中国地质科学院地质研究所, 北京, 100037

3) 中国地质科学院矿床地质研究所, 北京, 100037; 4) 中国科学院贵阳地球化学研究所, 贵阳, 550002

以两类新发现的软沉积物变形构造——同沉积拉张构造和同沉积挤压构造为例, 探讨其成因机理和在盆地构造演化中的意义。同沉积拉张构造类似于沉积布丁构造, 同沉积挤压构造类似挤压岩枕, 分别记录了拉张和挤压背景下处于地震活动带的沉积盆地所受到的应力状态及其方向, 揭示了盆地分别处于威尔逊旋回的裂谷盆地和残余盆地阶段。同沉积布丁构造发现于内蒙古白云鄂博东南约25km的腮林忽洞群下部的薄层石灰岩中。这些构造只在某些特定的层段中顺层发育, 薄层青灰色泥质微晶灰岩条带几乎层层都被密集的同生小断裂错开, 而与之相间分布的浅黄灰色薄层微晶灰岩则保持连续状态, 构成典型的布丁构造。同生小断裂和布丁构造为同沉积期的地震造成, 揭示了盆地边界沿NW—SE方向的拉张背景, 同时指示盆地自南东向北西水体变深的地

貌格局。同沉积挤压构造发现于南盘江盆地中三叠统复理石中, 最典型的构造为挤压岩枕和挤压皱纹。两者发育在复理石砂质单元的底部和其下泥质单元的顶部, 也就是发育于两种不同物性单元的界面上, 而在单元层的内部看不出来。实验证明, 这些构造变形必须是瞬时的快速变形, 是与地震相伴而生的。这些顺层分布而方向稳定的皱纹或岩枕反映了相关岩层沉积后到成岩前所受到的水平挤压作用。根据这些构造的方向判断, 南盘江盆地在中三叠世受到了SSW—NNE方向的挤压作用。这两类同沉积变形构造也揭示了相应的两个沉积盆地在威尔逊旋回演化模式中分别处于裂谷盆地和残余盆地阶段。