

文章编号: 0254 - 5357(2010)03 - 0296 - 05

多目标区域地球化学调查:分析测试面临的机遇和挑战

周国华

(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)

摘要: 文章简要地回顾了多目标区域地球化学调查与生态地球化学评价的发展历史,以及近年来多目标区域地球化学调查样品测试方法及质量监控方面取得的主要成就。指出随着生态地球化学评价逐渐成为研究的重点和核心,作为关键支撑技术的分析测试面临重大机遇和挑战:一是要求分析测试具有更高的准确度和精密度,以满足区域地球化学编图、环境监测及变化研究的需要,建议以现有 54 项指标分析测试方法及质量监控体系为基础,进一步提高某些介质及测试指标的分析测试水平;二是要求开发形成能满足多介质分析、多指标测定、经济有效的一整套分析测试方法体系,以适应生态地球化学评价的需要。

关键词: 多目标区域地球化学调查;生态地球化学评价;测试方法体系;分析质量;机遇和挑战

中图分类号: P59 **文献标识码:** A

Multi-purpose Regional Geochemical Survey: Opportunities and Challenges for Geochemical Analysis

ZHOU Guo-hua

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

Abstract: The paper briefly reviewed the development history of Multi-purpose Regional Geochemical Survey (MRGS) and Ecosystem Geochemistry Assessment (EGA) in China, and pointed out the main technical progress in sample analysis and analytical quality control achieved over the past decade. It was demonstrated that geochemical analysis will face great opportunities and challenge with the EGA is becoming the emphasis and focus of the MRGS study. To keep up with the requirements from regional mapping and eco-geochemical assessment, new measurement techniques and methods with higher accuracy and high precision need to be developed. Also a systematic analytical methodologies need to be established in order to meet the demands from multi-medium analysis and multi-index analysis.

Key words: multi-purpose regional geochemical survey; ecosystem geochemistry assessment; geochemical analysis system; analytical quality; opportunity and challenge

1 多目标区域地球化学调查与生态地球化学评价的发展

20 世纪 70 年代末原地矿部启动了全国区域化探扫面计划,对全国矿产勘查作出了巨大贡献,成果举世瞩目^[1-6];80 年代中期开始,我国化探工作者尝试性将区域化探资料应用于农业、环境、地

方病等领域;90 年代原地质部门联合卫生、农业部门开展了区域地球化学在农业和生命科学领域的应用研究,对于我国农业、环境、地方病等学科研究起到了一定的推动作用,区域地球化学资料的多目标应用价值逐渐体现^[7-14]。随着区域化探覆盖范围的不断扩大,河南郑州、浙江杭嘉湖、广东珠江三

收稿日期: 2009-10-10; 修订日期: 2010-01-22
基金项目: 沿海经济带区域生态地球化学评价项目资助(1210823805)
作者简介: 周国华(1964 -),男,江苏昆山市人,教授级高级工程师,研究方向为应用地球化学。
E-mail: zhouguohua9999@sina.com。

角洲等平原区相继实施了以土壤为采样介质、以农业和环境为主要研究目标的区域地球化学调查方法研究和试验性填图^[15],建立了全国环境地球化学监控网络,引入并开展了化学定时炸弹、土壤污染修复、地球化学工程学等国际热点课题的探讨研究^[16-20]。此外,围绕城市与矿山环境、名特优农产品、地方病问题和一些重大工程项目,原地矿部开展了大量的地球化学调查与评价研究工作。总体来看,矿产勘查是 20 世纪我国化探工作的核心和主体,而应用化探方法和资料服务于农业、环境、地方病等领域,逐渐成为化探工作的重要方向。

1.1 多目标区域地球化学调查的发展

世纪之交,根据我国区域化探的实施情况,从我国社会经济发展需求和生态环境问题日益突出的现状出发,将多目标区域地球化学调查作为新一轮地质大调查工作内容,明确了环境、农业、地热、医学及人体健康、矿产勘查和基础地质研究是多目标应用的重要方向。在中国地质调查局的领导下,1999 年率先启动了广东珠江三角洲、湖北江汉平原、四川成都盆地 3 个地区的多目标区域地球化学调查,结合上述地区开展了调查和评价方法技术研究。2002 年省部合作项目实施之后,多目标区域地球化学调查迅速在全国展开,成为新世纪我国区域地球化学的一项重要工作,标志着区域地球化学调查进入新的历史时期^[21]。

1.2 生态地球化学评价的发展

珠江三角洲、江汉平原、成都盆地多目标区域地球化学调查成果得到了中央和地方政府的高度关注,产生了深远的社会政治影响。随着我国社会经济特别是中东部地区经济快速发展面临的生态环境压力,多目标区域地球化学调查资料与评价成果成为地方社会发展的重要基础资料。以服务于农业为契机,2002 年浙江省人民政府与国土资源部中国地质调查局签署了省部合作调查协议,此后在全国范围内迅速兴起了农业地质/多目标生态地球化学调查的热潮。省部合作项目以多目标区域地球化学调查为基础,查明区域地球化学分布特征,同时通过生态地球化学评价查明异常元素成因来源、迁移转化和生态效应,开展生态地球化学预测预警,从而达到多目标调查成果转化应用于国土管护、农业、环境等多领域,直接为政府决策服务的目的。与方法技术相对成熟的多目标区域地球化学调查工作相比,生态地球化学评价成为 2002 年之后整项工作的关键技术和研究重点^[22-24]。

2 分析测试面临的新要求

2.1 多目标区域地球化学调查对分析测试的要求

在 1999 年启动多目标区域地球化学调查之初,其工作方法基本延续了 1 : 20 万区域化探的方法技术体系。鉴于调查成果将应用于国土管护、环境、农业、地热、医学及人体健康、矿产勘查和基础地质研究等相关研究领域,规定了土壤为主,包括湖泊和近岸浅海沉积物、地表水和浅层地下水等作为采样介质^[25];土壤、沉积物分析项目由区域化探的 39 项增加到 52 种元素和 pH、有机碳(C_{org})共 54 项,增加的指标 Br、Ce、Cl、Ga、Ge、I、Rb、S、Sc、Se、Tl、总碳(TC)、C_{org}、pH 为重要环境元素、生命元素和理化指标(见表 1)。

多目标区域地球化学调查继续发扬我国区域化探样品分析特色和优势,以区域化探样品分析测试配套方案为基础,根据当代大型分析仪器的的发展进行了调整和优化,建立了以 X 射线荧光光谱、等离子体质谱/光谱、原子吸收光谱等大型仪器分析方法为主体,符合我国地质分析实验室实情的配套分析方案^[26-28],元素分析检出限低于地壳丰度,某些元素检出限要求比区域化探还要严格(见表 1)。

表 1 区域化探与多目标区域地球化学调查分析指标与检出限要求^①

Table 1 Analytical components and detection limits requirement of the Regional Geochemistry—National Reconnaissance (RGNR) and the Multi-purpose Regional Geochemical Survey (MRGS)

检出限			检出限			检出限		
指标	区域化探 多目标		指标	区域化探 多目标		指标	区域化探 多目标	
Ag	0.02	0.02	I	—	0.5	Ti	100	10
As	1	1	La	30	5	Tl	—	0.1
Au	0.0003	0.0003	Li	5	1	U	0.5	0.1
B	5	1	Mn	30	10	V	20	5
Ba	50	10	Mo	0.5	0.3	W	0.5	0.4
Be	0.5	0.5	N	—	20	Y	5	1
Bi	0.1	0.05	Nb	5	2	Zn	10	4
Br	—	1.5	Ni	2	2	Zr	10	2
Cd	0.1	0.03	P	100	10	SiO ₂	0.1	0.1
Ce	—	1	Pb	2	2	Al ₂ O ₃	0.05	0.05
Cl	—	20	Rb	—	10	TF ₂ O ₃	0.05	0.05
Co	1	1	S	—	50	CaO	0.05	0.05
Cr	15	5	Sb	0.2	0.05	MgO	0.05	0.05
Cu	1	1	Sc	—	1	K ₂ O	0.05	0.05
F	100	100	Se	—	0.01	Na ₂ O	0.1	0.1
Ga	—	2	Sn	1	1	TC	—	0.1
Ge	—	0.1	Sr	5	5	C _{org}	—	0.1
Hg	0.005	0.0005	Th	4	2	pH	—	0.1

① 数据单位:氧化物、TC、C_{org} 为%, pH 无量纲,其他为 μg/g。

多目标区域地球化学调查是一项基础性的工作。为保证调查数据的高质量,同时针对冲洪积平原区土壤元素含量起伏小,微小的系统分析误差即会对成图效果产生明显影响这一问题,多目标区域地球化学调查加强了分析质量监控力度,采用了实验室内部监控和外部监控相结合、以外部质量控制为主的分析质量监控方案。国家一级标准物质监控实验室内部的准确度和精密度,外部监控措施主要是:①中国地质调查局建立了由资深分析专家组成的分析质量监控组,对实验室54项指标的分析测试水平及承担多目标调查样品分析的资质进行考核认定,对分析测试数据进行检查验收;②运用土壤一级标准物质配制成每组150件的标准控制样,以标准控制样测定值绘制虚拟分布图,通过对比元素分布的相似性评价分析质量^[29-31]。事实证明,采取以上措施后,省内和跨省区域编图效果良好,绝大多数元素没有出现明显的系统误差,省内、省际和全国区域地球化学图基本做到无缝拼接,提升了区域化探样品分析精度水平。

在异常查证及成果解释评价阶段,采集了农产品生物样、水等样品。土壤样品除了测定元素全量外,测定了营养元素有效量、价态或相态含量。此外,还测定了少量的有机污染物指标。样品采集、预处理及分析测试方法主要引用了相关国家行业标准以及农业、环境和科研部门的经验。

2.2 生态地球化学评价对分析测试的要求

随着省部合作项目的全面推进,仅仅进行多目标区域地球化学调查、提交区域地球化学基础资料已不能满足地方社会经济发展的需要,生态地球化学评价逐渐成为研究的核心和重点^[32-33]。生态地球化学评价以农田、城市、湖泊、河流、浅海生态系统为研究对象,以异常元素成因来源、迁移转化、生态效应和生态地球化学预测预警为主要内容。与多目标区域地球化学调查相比,生态地球化学评价涉及更多的样品介质类型,需要测定纷繁多样的指标。具体包括以下两方面。

(1) 样品介质方面,除了较为传统的土壤、沉积物/底泥、水、岩石等样品外,通常还包括植物与农产品、动物与人体生物样、大气干湿沉降、降尘及污染端元尘、农药、化肥、河流悬浮物、大气颗粒物、土壤溶液等等,其中农产品生物样可细分为粮食、蔬菜、油料、果品、饮料等几大类,动物样品包括畜牧、水产、野生动物等毛发、血液、尿液、骨骼、肉、内脏等。繁杂多样的样品种类要求有与之相应的样品保存、预处理和测

试技术方法。大气颗粒物、土壤溶液等一些样品量少,采集困难,分析测试质量要求高,监控难度大。

(2) 分析指标和技术方面,除了通常的元素指标外,还涉及:①各种有机和无机化合物、阳/阴离子、形态组成、有效态、赋存价态等;②有机质(OM)、阳离子交换量(CEC)、酸度(pH)、氧化还原电位(Eh)、质地或粒级组成等重要理化指标;③其他相关技术方法,如²¹⁰Pb、¹³⁷Cs、¹⁴C和热释光测年技术等。

3 分析方法面临的挑战

全国范围大面积多目标区域地球化学调查的实施给我国地质行业实验室带来机遇。迄今为止,多目标调查范围已覆盖160多万公里,测定的土壤、沉积物样品数就有50多万件。生态地球化学评价工作的全面实施,使原先多为研究性、小批量的多介质样品,也进入到批量化测试阶段。其中一些测试数据社会影响大、对分析的质量要求更高,如农产品样品中重金属含量级次常在标准限量值上下,要求测试数据有足够的准确度,以取得可靠的农产品食用安全性评价成果,这就不同于过去仅用以研究作物对元素吸收富集规律的分析测试要求;另外,与过去的研究有所不同,生态地球化学评价将在局部或区域性评价研究的基础上,开展大区域甚至全国性的对比研究,这也要求分析数据具有更高准确度和再现性。例如,土壤元素有效量、形态组成不仅要能反映区内土壤元素有效量、形态组成特征及其分布规律,而且要求具有不同研究区、省市及全国的可比性。因此,多目标区域地球化学调查又给地质分析实验室带来了巨大的挑战。

(1) 多目标区域地球化学调查是整项计划的基础,确保土壤、沉积物中54项指标的分析质量是关键。尽管采取了较区域化探更加严密的分析质量监控措施,但由于大范围冲洪积平原区成土母质较为均一,特别是Be、Bi、Ga、Ge、I、In、Mo、Se、Sn、Tl、U、W等元素含量低、变化幅度小、区域分布均匀,跨省(区市)编图时,由于编图精度(等值线的划分或色阶的划分)与目前某些元素实际可以达到的分析精度存在差异,因此某些元素分布图有时仍显示实验室间或分析批次间系统误差的影响。如何进一步提高分析质量、控制分析系统误差仍是分析测试面临的难题之一。

在省部合作项目中,一些省市部署了水地球化学调查,测定了主要元素、化合物和重要理化指标。大批量水样的快速处理和测试也对实验室产生了一定的压力。

(2) 生态地球化学评价中土壤沉积物有效态、形态、相态分析,广泛借鉴了农业和环境等部门、相关学科专业长期研究积累的分析方法和技术经验,按照相应国家、行业标准或地方标准,或参照国外相应标准进行。分析实践发现,一方面有些分析方法标准化程度低,样品处理与测试效率低,难以进行大批量样的分析;另一方面各实验室工作实践经验不足,保存、预处理条件较差,监控体系不完善,致使实验室之间、不同批次之间的分析结果可比性差。针对这种情况,在中国地质调查局的统一安排下,经过一些实验室的专门研究,完善细化了分析测试和质量控制方法,分析测试数据质量基本能满足当前评价的需要。

(3) 由于地质分析实验室过去主要为矿产勘查服务,面对生态地球化学评价种类繁多的样品分析工作,特别是生物样品等样品的保存、预处理以及有机污染物的分析测试,在仪器装备、实验条件方面显得不足,某些辅助性设备不够先进,如普遍缺乏大容量的冷冻干燥设备。部分实验室生物样品的分析结果不够稳定,数据质量仍存在问题,质量监控体系有待进一步完善。如何提高分析质量,特别是关系到农产品安全性评价结果的分析测试质量,是地质实验室需要解决的技术问题。

(4) 地质实验室研究方法研究要有一定的前瞻性,能及时满足生态地球化学评价等应用研究。例如,生态地球化学预测预警、地球化学灾害预测评价要求有效地检测土壤环境的变化速率。浙江杭嘉湖、广东珠江三角洲等地区的初步研究表明,在数年至10年的时间尺度上,土壤酸碱度、重金属污染元素含量变化于 $n\% \sim 20\%$ ^[34]。显然,要识别出这种变化,不仅需要进行定点监测,还要在样品采集与加工等方面采取周密的技术方法,同时也对分析测试的准确度、精密度有了更高的要求。

(5) 地质分析实验室过去主要测定元素、氧化物等无机指标,然而有机污染物生态环境问题越来越突出,有机分析越来越重要。培养有机分析专业人才,积累有机分析实践经验,加强装备有机分析仪器和辅助设备,研究开发快捷、经济有效的分析测试方法技术,也是地质分析实验室应适当关注的问题。

4 结语与展望

4.1 结语

10年来我国地质实验室分析测试技术取得长足进步,为多目标区域地球化学调查和生态地球化

学评价的成功实施提供了技术支撑,功不可没。主要表现在以下几点。

(1) 不同省市调查成果(54项指标)基本实现了无缝拼接成图,成果国际一流。这一方面要归功于我国区域化探先辈和地质实验室长期研究建立的区域化探样品配套分析方案及其质量监控体系;另一方面,在多目标调查一开始,针对区域土壤元素含量与分布特征,进行了深入研究,优化完善了土壤样品分析测试方法和质量监控体系,增加了150个监控样和图形相似性考核方法等。总之,1999年多目标区域地球化学调查启动以来,我国地质分析实验室的分析技术水平得到了较快发展,已基本能满足多目标调查和评价的需要。

(2) 多介质复杂指标的分析测试方法标准化研究,取得了长足的进展。测定的样品类型方面,除了沉积物、土壤等常规介质外,形成了针对农作物等各类生物样品、水、化肥、农药、大气干湿沉降、河流悬浮物、大气颗粒物等介质类型的样品处理、分析测试方法;指标方面,除了传统的无机元素全量外,引入了元素有效态、形态、价态、有机污染物、无机化合物、阳离子交换量、氧化还原电位、铅同位素组成、同位素纪年、矿物组成、粒度等类型繁杂的分析测试指标。

(3) 方法技术的标准化、规范化。编制了《生态地球化学评价样品分析技术要求》,使土壤元素有效态、形态、生物样品预处理、分析测定、质量监控更加标准化、系统化,各实验室综合能力大大增强,多介质分析测试方法逐渐完善,数据质量不断改善,提供的数据资料基本能满足当前生态地球化学研究的需要。

4.2 展望

10年来全国多目标调查已覆盖160多万平方公里,分析测试技术为多目标调查、生态地球化学评价提供了重要技术支撑。随着多目标调查工作的迅猛发展,调查成果在国土资源管理、农业规划、环境保护、生态建设等服务领域的扩展,生态地球化学评价工作的深入(监控、预测预警、治理修复等),对分析测试技术提出了新的要求,需要分析测试继续为研究解决重大和关键问题提供技术支撑,如各类生物样品分析方法技术研究(生物样中元素形态、价态、有效性问题);开发经济快速的有机物分析测试技术——低成本、快捷分析方法(萃取),以满足大批量样品分析需要;建立微量样品分析测试方法及质量监控(悬浮物、大气颗粒物等);形成化学元素、理化指标的野外现场快速测

试技术及质量监控方案;满足环境动态变化研究对分析数据准确度的高要求等。

致谢:中国地质调查局基础部奚小环教授、湖北省地质实验研究所叶家瑜教授对本文初稿提出了宝贵的修改建议,特此表示衷心感谢!

5 参考文献

- [1] Xie Xuejing, Sun Huanzhen, Li Shanfang. Geochemical exploration in China [J]. *Journal of Geochemical Exploration*, 1981, 15: 489–506.
- [2] Xie Xuejing, Zheng Kangle. Recent advances in geochemical exploration in China [J]. *Journal of Geochemical Exploration*, 1983, 19: 423–444.
- [3] Xie Xuejing, Sun Huanzhen, Ren Tianxiang. Regional geochemistry-national reconnaissance project in China [J]. *Journal of Geochemical Exploration*, 1989, 33(1–3): 1–9.
- [4] Xie Xuejing, Mu Xuzhan, Ren Tianxiang. Geochemical mapping in China [J]. *Journal of Geochemical Exploration*, 1997, 60(1): 99–113.
- [5] 奚小环,张连.地质矿产部“八五”期间物探、化探、遥感勘查若干新进展[J].物探与化探,1997,21(1):1–5.
- [6] 奚小环.1999~2001·勘查地球化学·资源与环境[J].物探与化探,2003,27(1):1–6.
- [7] 蔡以评,杨秀全.泉州—湄州湾地区地表环境质量地球化学评价初探[J].物探与化探,1991,15(1):62–65.
- [8] 孙天蔚,李建华.区域化探剖面资料在农业及环境中的应用[J].物探与化探,1992,16(1):66–73.
- [9] 张华.郑州地区土壤背景研究在环境评价中的应用[J].物探与化探,1993,17(4):241–250.
- [10] 朱立新,周国华.勘查地球化学在农业上的应用[J].有色金属矿产勘查,1994,3(4):240–245.
- [11] 朱立新,任天祥,周国华,王徽,张连生,张孝然,尹树艺,刘玉艳,陈瑞锁,林秀珍.区域化探资料在提高农作物产量上的应用成果[J].物探与化探,1994,18(4):241–250.
- [12] 李家熙.区域地球化学与农业和健康[M].北京:人民卫生出版社,2000.
- [13] 李家熙,吴功建.中国生态地球化学图集[M].北京:地质出版社,1999.
- [14] 朱立新,周国华,任天祥,张连生,王徽,顾金秋,杜雄进,王成,蒋永平,周子泉.浙江省杭嘉湖平原区土壤中营养元素丰缺状况的评价[J].物探与化探,1994,18(4):251–262.
- [15] 朱立新,周国华,任天祥,张连生,王徽,顾金秋,杜雄进,王成,蒋永平.浙江省杭嘉湖平原区农业环境地球化学调查和研究成果[J].矿物岩石地球化学通讯,1994(3):151–153.
- [16] Xie Xuejing, Cheng Hangxin. The suitability of floodplain sediment as global sampling medium: Evidence from China [J]. *Journal of Geochemical Exploration*, 1997, 58: 51–62.
- [17] 谢学锦,周国华.多目标地球化学填图及多层次环境地球化学监控网络——基本概念与方法[J].地质通报,2001,21(12):809–816.
- [18] 严光生,谢学锦.“化学定时炸弹”与可持续发展[J].中国地质,2001,28(1):13–18.
- [19] 陈明,冯流,周国华,谢文明, Jacques Yvon, 曹晓娟, 陈红军.缓变型地球化学灾害:特征、模型和应用[J].地质通报,2005,24(10–11):916–921.
- [20] 周国华,黄怀曾,何红蓼.重金属污染土壤植物修复及进展[J].环境污染治理技术与设备,2002,3(6):33–39.
- [21] 谢学锦.2020年的勘查地球化学——从勘查地球化学到应用地球化学[J].地质通报,2003,22(11–12):863–868.
- [22] 杨忠芳,奚小环,成杭新,周国华,陈德友,张建新,袁晓军,冯海艳,陈家玮,刘爱华,汤奇峰,余涛.区域生态地球化学评价核心与对策[J].第四纪研究,2005,25(3):275–283.
- [23] 成杭新,赵传冬,杨忠芳,庄广民,刘英汉,赵更新,陈国光,陈德友.区域生态地球化学预警:问题与讨论[J].地学前缘,2004,11(2):607–615.
- [24] 周国华,汪庆华,董岩翔,刘国华,酆逸根,刘占元,孙彬彬.浙江省农业地质环境评价的基本思路与方法[J].中国地质,2004,31(Z1):40–44.
- [25] 中国地质调查局. DD2005—01,多目标区域地球化学调查规范(1:25万)[S]. 2005.
- [26] 张勤.多目标区域地球化学填图中的54种指标配套分析方案和分析质量监控系统[J].第四纪研究,2005,25(3):292–297.
- [27] 张勤,李国会,樊守忠,潘宴山.X射线荧光光谱法测定土壤和水系沉积物等样品中碳、氮、氟、氯、硫、溴等42种主次和痕量元素[J].分析试验室,2008,27(11):51–57.
- [28] 叶家瑜,张蕾.多目标区域地球化学调查样品分析配套方案[J].地质通报,2006,25(6):741–744.
- [29] 叶家瑜.区域地球化学调查样品分析质量监控与质量管理[J].物探与化探,2002,26(1):6–11.
- [30] 谢学锦,叶家瑜,酆明才,周国华.考核不同实验分析质量的新方法[J].地质通报,2003,22(1):1–11.
- [31] 叶家瑜,姚岗.区域化探样品分析质量控制方法探讨[J].岩矿测试,2004,23(2):137–142,147.
- [32] 奚小环.多目标的地质大调查——21世纪勘查地球化学的战略选择[J].物探与化探,2007,31(4):283–288.
- [33] 奚小环.生态地球化学:从调查实践到应用理论的系统工程[J].地学前缘,2008,15(5):1–8.
- [34] 周国华,董岩翔,刘占元,汪庆华,刘国华,孙彬彬.杭嘉湖地区土壤元素时空变化研究[J].中国地质,2004,31(Z1):72–79.