

# 平原区多目标地球化学调查异常查证 及生态效应评价方法

朱立新<sup>1,2</sup> 马生明<sup>2</sup> 王之峰<sup>2</sup> 吴昆明<sup>3</sup> 胡树起<sup>2</sup> 刘崇民<sup>2</sup>

(1. 中国地质大学, 北京 100083; 2. 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;

3. 吉林大学分析化学系, 吉林 长春 130026)

**摘要:**针对平原区多目标地球化学调查工作中亟待解决的技术问题,在试验研究资料基础上,本文提出了平原区多目标地球化学调查异常查证及生态效应评价方法。异常查证阶段,首先应用相关关系法确定异常组分的地球化学基准值,而后进行异常分类,确定异常的成因和形成机理,为异常生态效应评价提供理论基础。在异常生态效应评价中,首先要弄清土壤中异常组分全量与其活性组分间的关系,进而探讨土壤和农作物中异常组分的含量关系,最终依据相关标准,评估农作物中重金属元素的含量水平,及其通过食物链对人体健康可能造成的危害。

**关键词:**多目标地球化学调查;异常查证;异常生态效应评价;方法

**中图分类号:**P591;S151.9<sup>+3</sup> **文献标识码:**A **文章编号:**1000-3657(2004)04-0431-05

自 1999 年起,中国地质调查局组织实施的平原区多目标区域地球化学调查工作已经在中国十几个省市广泛展开,预计到“十五”末期,将覆盖中国东部、中部大部及西部部分经济发达和人口稠密的平原、盆地、三角洲、海岸带等地区<sup>[1]</sup>。目前这项工作已经取得了重要进展并产生了良好的社会效益,所获得的多元素区域地球化学资料为调查区农业、环境等领域提供了重要的基础地球化学信息<sup>[2-4]</sup>。但如何对区域调查工作中发现的大量土壤地球化学异常进行查证及生态效应评价,即建立异常查证及生态效应评价的方法体系和程序,已成为目前亟待解决的技术问题,并将直接对多目标地球化学调查成果的应用效果产生影响。作者在多年从事平原区农业环境地球化学研究工作基础上,依据在长春、南京、漳州和广州地区获得的试验研究成果,提出了平原区多目标地球化学调查异常查证及生态效应评价方法,试图为正在广泛开展的此类工作提供可借鉴的方法技术。

## 1 试验研究对象及研究区的选择

开展平原区多目标地球化学调查工作的任务和目的是为覆盖区(包括平原区)生态环境评价、资源评价和基础地质研

究等提供基础地球化学资料<sup>①</sup>。围绕上述核心任务和目的,根据多目标区域地球化学调查资料,可以将平原区土壤地球化学异常归并为 3 种主要类型:(1)用于生态环境评价的异常;(2)用于资源评价的异常;(3)用于基础地质研究的异常。其中,以第一类异常影响最大,特别是某些重金属元素异常,如出现在城镇及其周边的 Hg 异常和出现在长江等河流沿岸的区域 Cd 异常,是异常查证和生态效应评价工作的重点。目前,对这类异常成因、形成机理及生态效应的认识很不一致,存在的质疑也比较多,因此试验研究首先以重金属异常为主,探讨并建立了针对这类异常查证及生态效应评价的方法。其他类型异常的查证及评价方法正在试验研究过程中,这里提出的只是整个异常查证及评价方法体系的一个组成部分。

为了使研究结果具有广泛的代表性和普遍的指导意义,在试验研究区选择过程中,除了重点考虑异常类型以外,还兼顾了多目标地球化学调查工作的总体部署和进展情况,并充分考虑了自然景观条件对土壤中元素存在形态产生的重要影响,从南到北依次选择了广州、漳州、南京和长春等 4 个研究区内的十几个重金属异常。研究区总体布局基本反映出我国主要平原区的不同自然地理景观特征(表 1),取得的研究成果应该具有普遍的指导意义。

收稿日期:2004-05-10;改回日期:2004-07-05

基金项目:中国地质调查局地质大调查项目(200214200034,200220130004)资助。

作者简介:朱立新,男,1963年生,博士,教授级高级工程师,主要从事勘查、环境地球化学方法技术研究工作;E-mail:mismigge@163.com。

① 朱立新,等. 覆盖区多目标地球化学调查暂行规定(DD2002-),2002.

表1 研究区自然及人文景观特征

Table 1 Natural and cultural conditions of the study areas

统计项目	广 州	漳 州	南 京	长 春
气候区划 <sup>①</sup>	南亚热带	南亚热带	北亚热带	中温带
地貌区划	东南低、中山地	东南低、中山地	东部低山平原	东部低山平原
土壤区划	东部湿润、半湿润土壤区域	东部湿润、半湿润土壤区域	东部湿润、半湿润土壤区域	东部湿润、半湿润土壤区域
植被区划	湿润、半湿润森林带	湿润、半湿润森林带	湿润、半湿润森林带	湿润、半湿润森林带
城市人口及人口密度 (人/km <sup>2</sup> ) <sup>②</sup>	广州市区人口: 400~500万, 人口密度>2000万; 周边地区人口密度 700~1000万	漳州市区人口: <20万, 市区及周边人口密度: 300~1000万	南京市人口: 200~300万; 人口密度>2000万; 周边地区人口密度 500~1000万	长春市人口: 100~200万, 人口密度>2000万; 周边地区人口密度 10~500万

## 2 异常查证方法

### 2.1 土壤地球化学基准值及其确定方法

平原区土壤地球化学异常的成因多样、形成机理复杂,而且针对这类异常查证和评价的方法没有先例可循。在这种情况下,研究中首先将异常物质(文中称为异常组分)来源作为突破口,试图通过有效的技术手段获取有说服力的证据,来确认异常物质究竟是来自自然地质作用还是来自人为地质作用,进而确定异常的成因、形成机理等问题,为制定异常查证和评价方法提供基础资料。但是在目前条件下,要想准确区分异常组分的来源同样非常困难,问题在于没有直接的技术手段来有效区分哪些异常组分来自自然作用、来自哪种自然作用及哪些来自人为活动。通过系统的理论分析后认为,有效解决这一难题的前提是首先确定土壤中异常组分的地球化学基准值(异常组分的自然背景含量)。

地球化学基准值(以下简称基准值)概念是研究中根据实际需要提出来的,具有比较明确的涵义,有别于以往研究中经常使用的元素背景值概念,因此确定异常组分基准值的方法也需要探讨<sup>③</sup>。试验中通过系统的地质地球化学理论分析,提出了有效确定异常组分基准值的方法——相关关系法,即采用相关分析方法筛选出与异常组分显著相关的地球化学基准指标(通常是常量化学组分,以下简称基准指标),通过回归分析建立两者间的回归方程,根据回归方程,利用基准指标的含量计算出异常组分的基准值,进而依据等式“异常组分叠加量=异常组分现实含量(测定值)-基准值”来确定异常组分的叠加量。

相关关系法确定异常组分基准值,是以土壤物质组成和土壤化学元素含量间内在的相关关系为基础,充分考虑了土壤物质组成等特性对土壤元素基准值及其区域性特征的影响,既强调自然因素对土壤地球化学环境的决定作用,又强调人为因素对土壤地球化学环境的巨大影响,更突出了基准值的区域性特征,既是土壤地球化学环境自然演变的结果,又是衡量由人类活动叠加到土壤中的异常组分多少的度量标准。因此,应用此方法确定的异常组分基准值可信度高,而且有效避免了人为主观意识的影响,实际使用中无需刻意避开人为活动对地球化学环境的扰动。试验研究结果表明,该方法在确定土壤中异常组分基准值和研究土壤地球化学

异常成因中能够起到积极的作用<sup>④</sup>。

### 2.2 进行异常分类,确定异常的成因及形成机理

(1)根据土壤垂直剖面上异常组分叠加量的分布形态进行异常分类

试验研究结果表明,研究平原区异常成因最直接的方式是采用土壤垂直剖面。剖面数量或网密度主要根据查证工作的精度要求确定,具体采样位置的选择要结合异常产状(产出位置、规模、平面分布形态等)和异常强度。通常情况下,垂直剖面沿垂直异常长轴方向或通过异常浓集中心的水平剖面线布置,也可以按照一定的网格密度布置,同时还要考虑异常强度因素,使每个剖面代表不同的异常强度,剖面间距离一般为1~2 km,剖面深度200 cm,在每个剖面上按20 cm等间距(或按土壤层位)连续采集样品。同时,为了满足确定试验区地球化学基准值的需要,在相同条件的背景区布置至少2个垂直剖面。分析指标除了主要异常组分以外,还要分析常量化学组分(SiO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、CaO、MgO、Na<sub>2</sub>O、K<sub>2</sub>O等),目的是为确定异常组分基准值提供基准指标。各指标的分析方法及质量要求参照相关技术规范(或指南)执行。

在土壤垂直剖面分析数据基础上,利用相关关系法计算异常组分的基准值及其叠加量。不过在此之前需要对样品进行Q型聚类分析,利用夹角余弦法(或其他方法)进行相似性度量,目的是剔除变异程度比较大的剖面或样品,以便于筛选出与异常组分相关性最大的基准指标。异常剖面或异常样品剔除遵循异常组分与基准指标间相关系数最大化原则。剔除了变异剖面 and 变异样品之后,对其余样品进行相关分析,筛选出与异常组分相关性最显著的基准指标,采用回归分析方法建立异常组分与基准指标间的回归方程(一元回归或多元回归),根据基准指标的含量计算出异常组分的基准值。

多数情况下,通过回归分析建立的回归方程带有一个加减常数项(±a),因此根据这样的回归方程计算出的基准值是一个不确定的值,需要依据实测的异常组分含量值进行检验甚至修正,以确定能够更加准确计算异常组分基准值的回归方程,并依据这个回归方程计算土壤垂直剖面上各采样深度样品中异常组分的基准值及异常组分叠加量。相关分析和回归分析等应用程序没有特殊要求,可自行选择。

以下是南京研究区Cd、广州研究区Hg异常组分与其基准指标间的回归方程:

表 2 土壤垂直剖面上 Cd 和 Hg 异常分布/ $10^{-9}$   
Table 2 Distribution of Cd and Hg anomalies ( $10^{-9}$ )  
at the vertical sections of soil

采样深度/cm	南京研究区									广州研究区								
	NJ16			NJ17			NJ18			NJ21			GZ1			GZ3		
	Cd1	Cd2	Cd3	Cd1	Cd2	Cd3	Cd1	Cd2	Cd3	Cd1	Cd2	Cd3	Hg1	Hg2	Hg3	Hg1	Hg2	Hg3
-20	234	148	86	221	155	66	259	152	107	234	148	86	5226	117	5110	4460	112	4348
-40	291	150	141	232	155	77	214	157	57	188	148	40	5892	122	5770	4641	106	4535
-60	201	150	51	354	159	195	243	156	87	189	150	39	1413	128	1285	5953	108	5845
-80	219	151	68	254	158	96	185	150	35	196	152	44	359	125	235	8576	100	8476
-100	226	152	74	294	156	138	232	150	82	257	148	109	234	122	112	3309	103	3206
-120	237	144	93	129	157	28	199	137	62	186	147	39	141	113	28	1544	104	1439
-140	193	143	50	214	155	59	162	141	21	233	144	89	173	104	69	1150	100	1050
-160	195	135	60	239	153	86	187	138	49	201	142	59	121	86	35	624	109	514
-180	227	143	84	251	153	98	259	149	110	176	140	36				474	111	363
-200	211	144	67	234	152	82	170	139	31	172	139	33				222	101	121

注: Cd<sub>1</sub>、Hg<sub>1</sub> 为测定值, Cd<sub>2</sub>、Hg<sub>2</sub> 为基准值, Cd<sub>3</sub>、Hg<sub>3</sub> 为叠加量。

南京研究区 Cd = 43.496 9×MgO + 49.243 1  
15.78 (平均标准偏差)

广州研究区 Hg = -3.771 5×SiO<sub>2</sub> + 349.582 4  
22.64 (平均标准偏差)

从表 2 可见,是利用回归方程根据基准指标含量计算出的部分土壤垂直剖面上 Cd、Hg 的基准值及其叠加量。与地球化学基准值相比,南京研究区 Cd 异常叠加程度不大,但是整个剖面上几乎都出现异常,将这种类型异常称为整体型异常;广州研究区 Hg 异常叠加程度很大,但是主要集中在(GZ1)剖面的上部(-100 cm 以上),将这种类型异常称为表层累积型异常。GZ3 剖面上异常组分影响深度比较大,结合野外调查资料分析,此处原始土壤层位已经遭到人为破坏,因此不能代表自然状态下异常组分在垂直剖面上的分布特征,这也正是强调剖面位置要避开明显人为扰动的原

## (2) 确定异常的成因及形成机理

根据异常组分叠加量在土壤垂直剖面上的分布形态,可以将平原区土壤地球化学异常分为整体型和表层累积型两种主要类型。结合各类异常产出环境的地理地质景观和人为活动特点,基本上可以确定两类异常的成因类型。通常情况下,整体型异常的成因以自然地质作用为主,表层累积型异常的成因以人为地质作用为主,但是具体情况却比较复杂,要结合异常产出位置的自然环境及异常组分绝对叠加量等特征综合分析。

典型的整体型异常是出现在河流沿岸以 Cd 为代表的异常,例如上述南京研究区 Cd 异常,异常主要沿河岸呈带状分布,范围很大,异常区内人类活动程度通常比较弱,主要为农业活动。通过对 70 个样品的分析后发现,此类异常的异常组分与土壤中的矿物组成、机械组成及常量化学组分等相关系数  $\gamma=0.325$  时均具有显著的相关性(表 3),表明在整个土壤垂直剖面上,土壤物质组成均对异常的形成产生直接影响,由此认为此类异常是由自然地质作用形成的,其形成机理应

该符合吸附-解吸、沉淀-溶解等理论。不过其异常组分的来源可能与近代人类活动有一定的关联,因此从严格意义上讲应该是一种复合成因的异常。Cd 异常区内,土壤活性组分中 Cd 含量比较高,由此揭示出 Cd 异常的生态效应很敏感。

表层累积型异常的异常组分仅在表层土壤中累积,向深部异常组分累积的程度逐渐降低直至消失,例如上述广州研究区的 Hg 异常。此类异常的异常组分基本上可以确认是由人类活动产生的,但是其迁移、累积过程可能受到自然营力(风、降水等)的影响,多分布在城镇及其周边地区,当异常组分累积到一定程度后即造成土壤污染。在以往研究中,多数研究者认为在此类异常形成过程中,土壤有机质和粘土矿物对异常组分的固定、累积起到了不可替代的作用。对这一认识研究者一直心存疑惑,既然土壤有机质对异常组分的累积起了重要作用,那么有机态 Hg 在土壤全量 Hg 中所占的比例就应该比较大,可是试验结果却表明,有机态 Hg 在土壤全量 Hg 中所占的比例却很小,而且异常越强有机态 Hg 所占的比例越小(表 4),据此推测土壤中重金属异常组分可能以其他更稳定的形式存在。

在土壤重矿物研究过程中发现,土壤重金属异常区内存在着与人类活动有关的“微球粒”物质,并且在土壤 Hg 异常区内发现大量辰砂,辰砂与土壤中 Hg 含量基本呈正相关关系,据矿物鉴定、电子探针和拉曼光谱分析结果均证实了辰砂的存在<sup>[9,10]</sup>。

“微球粒”的发现对解释城镇区部分重金属异常的形成机理具有重要作用,从根本上改变了对这类重金属异常成因机理的已有认识,而且“微球粒”很好地指示了人类叠加组分的存在,在实际工作中可以作为判断人为因素对土壤环境产生扰动的直接证据。不过由于“微球粒”物质的分离技术尚不成熟,在实际工作中此方法只能作为判别土壤地球化学异常成因类型的一种辅助手段。

土壤 Hg 异常区辰砂的发现意义更加重大,不仅对土壤 Hg 异常的成因及其形成机理具有重大影响,而且对辰砂的成因而言也是一个新进展,更重要的是,根据这一发现对土壤 Hg 异常成因、形成机理及生态效应的认识必将发生根本性转变,甚至对土壤中 Hg 的环境质量标准都要重新认识。“微球粒”和辰砂方面的信息可以通过土壤重矿物研究获得。

## 3 异常生态效应评价方法

### 3.1 工作布置与样品采集及加工和测试

异常评价阶段样品在平面上采集,分别采集表层土壤样品和对应点上优势农作物(异常区内普遍种植的农作物品种)样品。样品数量可以参照统计分析对样品数的要求设计,具体采样位置根据异常在平面上的分布形态、异常强度及异



表3 南京研究区土壤物质组分与Cd相关系数

Table 3 Correlation coefficient between soil composition and Cd in the Nanjing area

Cd	蒙脱石 x	水云母 x	高岭石 x	石英 -0.326	碳酸盐 -0.554	长石 0.52	角闪石 -0.629
	超微粒 <0.1 μm	胶粒 0.1-0.2 μm	粘粒 0.2-2 μm	细粉砂粒 2-6 μm	中粉砂粒 6-20 μm	砂质粉粒 20-60 μm	
Cd	0.578	0.601	0.585	0.575	0.613	-0.584	
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O
Cd	-0.603	0.504	0.634	0.515	x	-0.617	0.504

注:×—表示两种组分间没有相关性。

表4 研究区全量Hg与有机态Hg含量对比(μg/g)

Table 4 Contents of total Hg and organic Hg in Changchun, Guangzhou and Zhangzhou

产地 采样 深度 cm	长 春						广 州						漳 州		
	CC10			CC11			GZ1			GZ3			ZZ3		
	全 量	有 机 态	比 例 %	全 量	有 机 态	比 例 %	全 量	有 机 态	比 例 %	全 量	有 机 态	比 例 %	全 量	有 机 态	比 例 %
-20	193	13	6.7	257	21	8.2	5226	518	9.9	4460	397	8.9	3632	108	3.0
-40	118	15	12.7	99	18	18.2	5892	36	0.6	4641	354	7.6	3259	136	4.2
-60	20	7	35.0	24	8	33.0	1413	45	3.2	5953	450	7.6	2664	164	6.2
-80	16	4	25.0	15	6	40.0	359	16	4.5	8576	408	4.8	3289	158	4.8
-100	16	3	18.8	16	4	25.0	234	12	5.1	3309	96	2.9	545	25	4.6
-120	16	3	18.8	17	3	17.7	141	9	6.4	1544	52	3.4	137	9	6.6
-140				16	2	12.5	173	11	6.4	1150	58	5.0			

常区内优势农作物的分布状况,重点布置在异常强度和分布范围比较大,并种植有优势农作物的地段,为了使评价结果具有全面的代表性,还要兼顾其他出现异常的地段。同时,为了满足对比研究的需要,在条件基本相同的背景区内也要布置适当数量的采样点位。

土壤样品经自然风干,手工破碎并使用20目尼龙筛进行筛分,要求筛下部分(小于20目)样品重量大于400g,采用二分法将原样缩分为A(约200g)和B(约200g)两个子样。此后再采用二分法将子样A缩分为A1、A2两个子样,A1机械研磨至小于180目,用作化学分析,A2用作土壤活性组分(或相态、有效态)分析。子样B做副样保留。

### 3.2 建立土壤活性组分和全量间关系模型

从平原区土壤地球化学异常形成机理试验研究结果中可以看出,存在于平原区土壤中的重金属元素异常形成机理非常复杂,由此导致异常组分的生态效应差异很大。更为重要的是,即使是由同一成因机理形成的同一组分的异常,其异常组分的存在形态也存在着地域性分异,这就更加加剧了各地异常组分在农作物生态效应敏感程度上的差异。因此,在区域调查资料基础上,必须进一步查明异常组分的主导存在形态或土壤活性组分中异常组分的含量状况,建立土壤活性组分和全量间关系模型,才能准确有效地进行农作物生态效应评价。

试验研究中发现,整体型Cd异常的异常强度并不大,不过由于活性组分所占的比例很高,其生态效应却很敏感;表层累积型Hg异常的强度很大,有些甚至达到中度污染水平,不过由于土壤中的Hg主要以辰砂形式存在,因此不会对农

作物及生态环境造成现实影响。如果单纯依据这一试验结果,基本上就否认了应用区域地球化学调查资料进行农作物生态效应评价的可行性。但是,试验中同时还发现,土壤中活性组分中异常组分的含量与其全量间还是存在着某种程度的正相关关系,而且在特定的自然景观条件下,这种相关关系还具有一定的稳定性和普遍性。利用这种相关关系,就可以根据区域调查资料(异常组分的全量)推算出土壤活性组分中异常组分的含量状况,为评价异常组分的生态效应提供更加准确的基础资料。

在这种情况下,土壤活性组分中异常组分的含量及其与土壤全量间的相关关系等问题,就成为地球化学异常生态效应评价中一个重要的研究方面。研究中探讨了土壤活性组分中首先需要解决的关键问题——通用型土壤活性组分提取剂。该提取剂对不同土壤类型和异常组分均具有比较好的提取效果,初步试验结果表明,该提取剂具有较好的实用前景,为此后的相关研究提供了思路,也奠定了基础。

### 3.3 依据相关标准对异常组分的生态效应进行评价

在异常区内采集有代表性的农作物品种,采用标准方法测定其中异常组分的含量。根据土壤全量、活性组分及代表性农作物中异常组分的含量状况及含量间相关性,依据相关标准,对农作物中异常组分的含量状况进行评价,并对农作物中异常组分通过食物链对人体健康可能带来的危害进行预测。这一过程中,要充分重视不同农作物在吸收累积重金属元素能力上的差异。此外,对农作物吸收累积重金属元素的方式还要做全方位考虑。南京研究区天然雨水中Cd、Pb、Zn的含量比浅层地下水、土壤溶液中的含量分别高25、58、6倍,表明作物从降水中直接吸收重金属可能是一个重要的累积方式,特别是蔬菜类作物更是如此。土地耕作方式可能是影响异常组分生态效应的另一个方面,漳州试验区水稻中Cd、Cu、Zn的含量显著高于基本同点位大豆中的含量,这一结果为上述推测提供了证据。

结论:平原区土壤地球化学异常查证及生态效应评价方法,是在系统试验研究基础上提出的,具有一定理论依据和实用价值,为切实推进平原区多目标地球化学调查工作健康有序进行提供了技术支持。同时,试验研究过程中发现的一些新问题,例如土壤重金属异常区内发现的“微球粒”、Hg异常区内发现的辰砂等,具有更加广泛的理论和实际意义,值得深入研究,以使其在实际异常查证和评价中发挥作用。

### 参考文献(References):

- [1] 奚小环. 生态地球化学与生态地球化学评价[J]. 物探与化探, 2004,28(1):10~15.  
XI Xiaohuan. Eco-geochemical research and eco-geochemical evaluation[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2004,28(1): 10~15(in Chinese with English abstract).
- [2] 赵琦. 成都市多目标地球化学调查和双层采样效果[J]. 中国地质,

- 2002,29(2):186~191.
- Zhao Qi. Multi-target geochemical survey and results of double-layer sampling in Chengdu city[J]. *Geology in China*, 2002,29(2):186~191(in Chinese with English abstract).
- [3] 张德存,张宏泰. 江汉平原多目标地球化学调查主要成果与意义[J]. *中国地质*,2001,28(12):1~4,21.
- Zhang Decun, Zhang Hongtai. Main results and significance of multi-purpose geochemical survey in the Jiangnan plain[J]. *Geology in China*, 2001,28(12):1~4,21(in Chinese with English abstract).
- [4] 廖启林,吴新民,翁志华,等. 南京地区多目标地球化学调查基本成果及其相关问题初探[J]. *中国地质*,2004,31(1):70~77.
- Liao Qilin, Wu Xinmin, Weng Zhihua, et al. Basic results of multi-target geochemical survey in the Nanjing area and its relevant problems[J]. *Geology in China*, 2004,31(1):70~77(in Chinese with English abstract).
- [5] 国家地图集编纂委员会. 中华人民共和国国家自然地图集[M]. 北京:中国地图出版社,1999.
- Editorial Committee of National Atlas. The National Physical Atlas of China [M]. Beijing:China Cartographic Publishing House, 1999.
- [6] 中国科学院地理研究所等,主编. 中华人民共和国人口环境与可持续发展地图集 [M]. 北京:科学出版社,2000.
- Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, et al. The Atlas of Population, Environment and Sustainable Development of China [M]. Beijing:Science Press, 2000.
- [7] 朱立新,马生明,王之峰. 土壤生态地球化学基准值及其研究方法初探[J]. *地质与勘探*,2003,39(6):58~60.
- Zhu Lixin, Ma Shengming, Wang Zhifeng. Methodology for soil eco-geochemical reference value[J]. *Geology and Prospecting*, 2003,39(6):58~60(in Chinese with English abstract).
- [8] 肖桂义,朱立新,马生明. 城镇地区土壤中 Hg 的累加量及其存在形式研究[J]. *物探与化探*,2004,28(3):265~267,272.
- Xiao Guiyi, Zhu Lixin, Ma Shengming. Accumulation and mode of occurrence of Hg in soil around urban areas [J]. *Geophysical and Geochemical Exploration*, 2004,28(3):265~267, 272(in Chinese with English abstract).
- [9] 朱立新,马生明,王之峰. 城市环境地球化学研究新进展[J]. *物探与化探*,2004,28(2):95~98.
- Zhu Lixin, Ma Shengming, Wang Zhifeng. New advance in the study of urban environment geochemistry [J]. *Geophysical and Geochemical Exploration*,2004, 28(2):95~98(in Chinese with English abstract).
- [10] 马生明,朱立新,王之峰. 城镇区土壤中 Hg 环境地球化学异常查证及评价新思路[J]. *地质与勘探*,2004,40(3):82~85.
- Ma Shengming, Zhu Lixin, Wang Zhifeng. New thinking about appraisal and inspecting of Hg environment geochemical anomalies in soil around urban[J]. *Geology and Prospecting*, 2004,40(3):82~85(in Chinese with English abstract).

## The method for anomaly inspection and ecological appraisal in multi-purpose geochemical survey in plain areas

ZHU Li-xin<sup>1</sup>, MA Sheng-ming<sup>2</sup>, WANG Zhi-feng<sup>2</sup>,  
WU Kun-ming<sup>3</sup>, HU Shu-qi<sup>2</sup>, LIU Chong-min<sup>2</sup>

(1. China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

2. Institute of Geophysical and Geochemical Exploration, Chinese Academy of Geological Sciences, Langfang 065000, Hebei, China;

3. Department of Chemistry, Jilin University, Changchun 130026, Jilin, China)

**Abstract:** The paper focuses on the urgent technical issues arising in multi-purpose geochemical survey in plain areas. Based on the data of experimental study, the method for anomaly inspection and ecological appraisal of multi-purpose geochemical survey in plain areas is proposed. In the stage of anomaly inspection, the correlation method should be used to determine the geochemical base lines of the anomalous components first, and then classing of anomalies is made to make sure the origin and genetic mechanism of anomalies and provide a theoretical basis for the appraisal of anomaly ecological effect. In the stage of anomaly ecological effect appraisal, it is necessary first to make clear the correlation between the total content of anomalous components and their active components in soil, then to investigate the content correlation between the anomalous components in soil and crops and finally to evaluating the content of heavy metals in crops and their harm to human health through the food chain according to the relevant standards.

**Key words:** multi-purpose geochemical survey; anomaly inspection; anomaly ecological appraisal; method