

成果与方法

## 平阴县土壤中重金属元素异常成因研究

代杰瑞, 庞绪贵, 王红晋, 曾宪东, 胡雪平, 李肖鹏

(山东省地质调查院, 山东 济南 250013)

**摘要:**通过对平阴县周边及其西部农田区采样调查,平阴县周边元素异常具有异常衬度较高,富集系数大等特征,西部农田区异常具有各元素套合关系好,多数异常衬度不高,富集系数小的特点。结果表明,西部农田区异常是以As,Cd为主要成分的异常,元素含量与SiO<sub>2</sub>,Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>,Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>等常量组分间具有显著的相关性,随SiO<sub>2</sub>含量的增加而降低,随Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>,Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>含量的增加而增加,说明土壤常量组分及其所决定的土壤质地是导致异常形成的主要因素;而平阴城区异常是以S,Hg,As,Zn,Mn等元素为主的异常,是典型的人为综合因素(化工烟尘、工厂污水、生活垃圾)产生的异常。

**关键词:**土壤;重金属;元素异常;土壤质地;山东平阴

**中图分类号:**S152.3

**文献标识码:**A

平阴县地处黄河下游流域,位于济南市西南部,地势南高北低,中部隆起,具有以山地丘陵为主,平原洼地为次的地貌特征。气候属暖温带季风型大陆性气候,四季分明,年均气温13.6℃,年均降水量658.4mm。适宜的气候环境为农业发展提供了优越的自然条件,主要农作物有小麦、玉米、大豆等,经济作物有棉花、玫瑰花等;工业包括机械制造、冶炼、化工、建材、酿造、电力等行业<sup>[1]</sup>。为改善平阴县生态环境,为农业区划、环境保护和地方病防治等领域提供全新的地球化学资料和科学依据,山东省地质调查院开展了平阴县生态地球化学调查<sup>①</sup>。

## 1 样品采集与分析

平阴县生态地球化学调查中按每1km<sup>2</sup>采集1件表层土壤样品,每4km<sup>2</sup>组合成1件分析样,每4km<sup>2</sup>采集1件深层土壤样品,每16km<sup>2</sup>组合成1件分析样,分析与重金属污染和农业等有关的54项指标。经异常圈定发现平阴县周边及其西部农田区有As,Ni,Cd,Cr,F,Cu,Mn,S,U,Hg,Zn等11种以重金属为主的元素异常。为进一步掌握异常的分布特征、查明异常的成因和评价异常的生态效应,部署了异常剖面调查和采样分析工作。

布置走向大致近EW向,穿过异常中心并切穿异常区范围的土壤剖面。沿剖面的采样点间距约500m,在每个样点上采集表层(0~20cm)土壤样品,剖面编号LB××。沿剖面按大致2000m的间隔布设4条纵向土壤剖面,剖面编号LD××,剖面深度为2m,从地表至深1m处,每20cm连续采集1个土壤样,从1~1.6m处,每30cm连续采集1个土壤样,从1.6~2m处采集1个土壤样,一个纵向剖面共采集8个土壤样品。土壤样品风干、敲碎、过20目尼龙筛,送实验室分析,送样重量150g。

所有土壤样品由山东省地质科学实验研究院按照《多目标区域地球化学调查规范》测定As,Ni,Cd,Cr,F,Cu,Mn,S,U,Hg,Zn,SiO<sub>2</sub>,Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>,Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>全量和pH共15项指标,其检出限、报出率、合格率<sup>[2]</sup>等均能满足研究工作的需要。

## 2 异常地球化学特征

### 2.1 异常基本特征

出现在平阴城区及西部农田区的异常各自形成异常中心,西部农田区大致以东子顺村为中心,形成S,Zn,F,Cu,Ni,As,Cd,U,Mn,Cr异常,平阴城区多

\* 收稿日期:2009-02-16;修订日期:2009-05-04;编辑:陶卫卫

作者简介:代杰瑞(1977—),男,黑龙江萝北人,工程师,主要从事农业地质和地球化学勘查技术应用研究工作。

①山东省地质调查院,山东省平阴县生态地球化学调查报告,2006年。

数元素以污水处理厂西为中心形成 Hg, S, Zn, Cr, Cd, Cu, As, Ni, F, U, Mn 异常。异常区面积 43.76 km<sup>2</sup>。异常地球化学特征见表 1 和图 1。

表 1 平阴城区及西部农田区综合异常地球化学特征

异常元素	面积/ km <sup>2</sup>	强度	衬度	极值/ ( $\mu\text{g/g}$ )	下限/ ( $\mu\text{g/g}$ )	富集系数
Hg	48.13	0.05	1.66	0.08	0.038	3.30
S	21.88	0.04	2.00	0.05	0.03	2.33
Zn	12.65	82.54	1.26	88.70	76.64	1.39
Cr	5.76	80.40	1.17	81.10	75.74	1.17
Cd	5.59	0.21	1.40	0.22	0.20	1.95
Cu	10.32	30.50	1.30	33.80	27.70	1.50
As	18.24	14.40	1.43	15.60	11.92	1.33
Ni	14.59	37.40	1.33	39.50	32.36	1.31
F	17.92	656	1.24	703	595	1.17
U	6.95	2.90	1.28	2.90	2.58	1.29
Mn	18.28	722	1.29	799	641.14	1.34

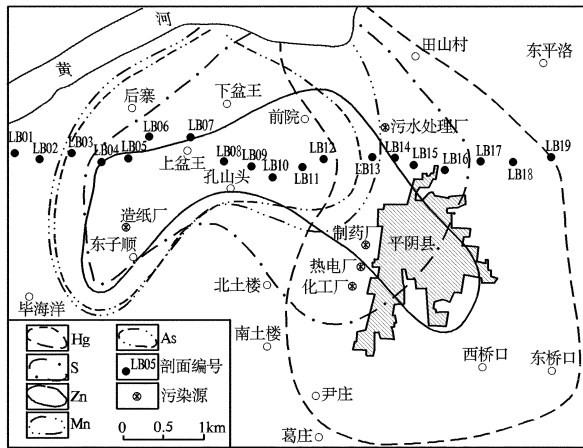


图 1 平阴城区及西部农田区综合异常分布图

在这些异常组分中,分布在城区的 Hg, S 异常具有异常面积大、强度高,表层富集强烈等特征。Hg 异常最高值为 0.08  $\mu\text{g/g}$ ,是背景值(0.025 9  $\mu\text{g/g}$ )的 3.1 倍,是异常下限的 2.35 倍,富集系数 3.30;S 异常最高值为 0.05  $\mu\text{g/g}$ ,是背景值(0.029  $\mu\text{g/g}$ )的 2.5 倍,是异常下限的 1.72 倍,富集系数 2.33,说明城区 Hg, S 异常主要为后期人为污染引起。西部农田区异常具有各元素组分套合关系好,多数异常衬度不高,富集系数小等特点,再从实地调查来看,西部异常区并没有发现较大污染源,这从侧面反映出表层土壤受人为因素影响较小。

### 2.2 异常区地质背景

异常区位于冲积黄泛平原洼地及山地丘陵区,

地势东高西低,为黄河冲积形成的黄河组灰黄色粉砂土、亚砂土及亚黏土、黏土组合。异常区西部土壤类型为潮土,东部为潮褐土。西部土壤黏质成分含量高, LB04 点附近黏质成分含量最高,从此点向东,剖面黏质成分含量逐渐减小,至平阴城区北部(LB15 点附近)土壤则以砂质成分为主。

## 3 异常成因分析

为了查明此异常是否存在和可能来源,布置 EW 向大致穿过异常中心的查证剖面(图 1)进行研究,剖面长度 9.5 km,垂向剖面 4 处,样品数量 48 件。通过异常区水平剖面调查,发现异常区有一个明显特点:以上盆王村为界,东西两区异常元素空间含量变化特征明显不同,西区含量变化平缓,而东区元素含量在 LB13 附近产生突变,且富集系数高。初步判断东西两区异常成因可能不同。

### 3.1 西部农田异常区成因分析

通过水平剖面(LB01—LB10)调查:发现 U, Mn, Cr 没有出现异常;S, Zn, F, Cu, Ni 异常尽管存在,但绝对含量并不高。水平剖面 10 件样品中,Zn, F, Cu 超过异常下限值的样品数为 3 件, Ni 2 件, S 仅 1 件;而 As, Cd 的含量很突出,水平剖面 10 件样品中,7 件样品的 As 超过异常下限值,最大值为 19,是异常下限值的 1.6 倍,7 件样品的 Cd 超过异常下限值,最大值 0.27,是异常下限值的 1.4 倍。可以肯定 S, Zn, F, Cu, Ni, As, Cd 元素异常是存在的,是以 As, Cd 为主的异常。

根据西部农田区 SiO<sub>2</sub> 剖面与异常元素剖面的比较可以看出:各异常元素含量与 SiO<sub>2</sub> 含量成反消长的关系,即异常元素含量在很大程度上受 SiO<sub>2</sub> 含量的控制。从异常区表层土壤常量组分与全区背景值的对比看出(表 2), SiO<sub>2</sub> 含量比全区背景值低 5.02%, Na<sub>2</sub>O 含量比全区背景值低 0.38%, 而 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, CaO, K<sub>2</sub>O 分别比全区背景值高 0.97%, 0.93%, 0.24%, 1.01% 和 0.23%。由此可以得出结论,土壤异常元素含量与 Fe, Al, K, Ca, Mg 含量呈共消长,而与 Si, Na 含量呈反消长的关系。一般来说,土壤中 SiO<sub>2</sub> 含量越高, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO 等组分越低,则土壤质地偏向于砂质、粉砂质,吸附元素的能力较弱;反之,则土壤质地偏向于黏土质,吸附元素的能力较强<sup>[3]</sup>。可以推断土壤常量组分

表2 异常区表层土壤常量组分与全区背景值的对比(%)

氧化物	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TFe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O
平均含量	55.19	12.73	5.16	2.16	6.79	1.39	2.52
背景值	60.21	11.77	4.23	1.93	5.78	1.77	2.29
差值	-5.02	0.97	0.93	0.24	1.01	-0.38	0.23

及其决定的土壤质地是导致西部农田异常形成的主要因素,而人类活动的后期叠加作用是土壤异常形成的次要因素。

### 3.2 城区异常成因分析

城区异常水平剖面(LB09—LB19)11件样品中,6件样品Hg超过异常下限,最高值达0.098 μg/g,是异常下限的3倍;6件样品S超过异常下限,最高值达0.049 μg/g,是异常下限的1.7倍;5

件样品Zn超过异常下限,最高值达138 μg/g,是异常下限的1.8倍;5件样品Cu,6件样品As,5件样品Mn,8件样品Cd,4件样品Ni超过异常下限,Cr,F,U相对低缓。通过查证,主要异常是S,Hg,Cu,Ni,As,Cd,Zn,Mn;并发现As,Ni,Hg,Zn范围与原异常范围较吻合,而其他异常范围均有向东部扩展的趋势,达到污水处理厂东部的LB14处。

As,Zn,Hg,Cu等异常元素垂直剖面空间含量变化见图2。由图2可见:LD15剖面的S,Hg;LD13剖面的Hg,S,Zn,Ni,Mn,Cu元素均呈现出强烈的表层富集现象,随着深度的增大,上述元素含量迅速降低,地球化学剖面呈“r”形,个别元素(As,Cd)形态为“S”形,说明上述元素后期人为污染严重。

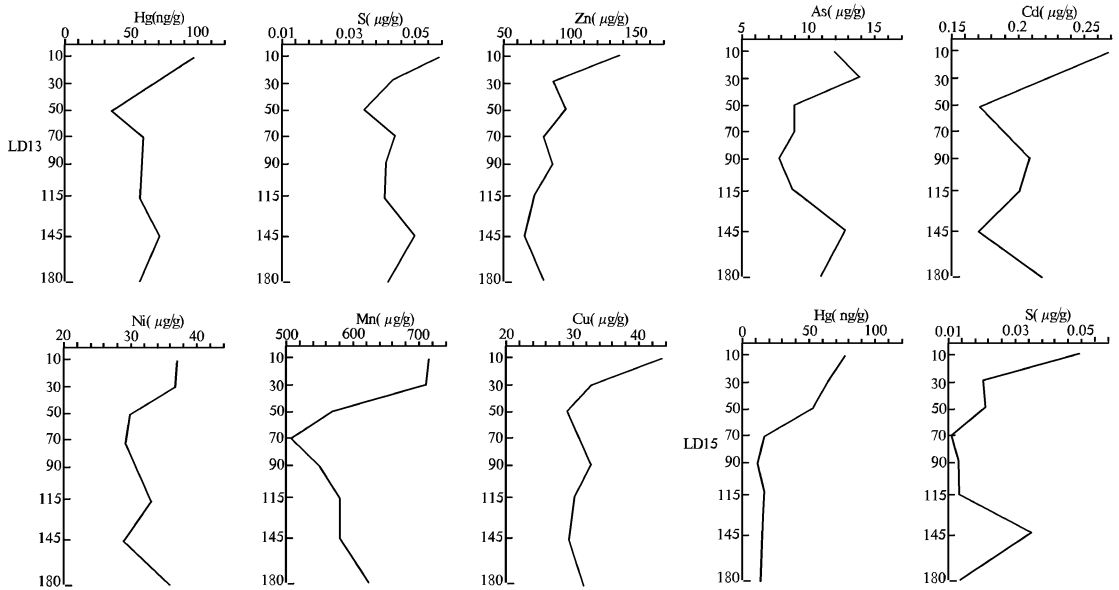


图2 平阴城区土壤纵向剖面空间含量变化图

As,Zn,Hg,Cu等异常元素水平剖面空间含量变化见图3(图中虚线代表异常下限),由图3可见:除Hg外,剖面起始端(LB09)各元素含量均高于异常下限,而与其相邻的剖面点(LB10)各元素含量均低于异常下限,从此点向东部含量则逐渐升高,可以断定LB10点为东、西区不同成因异常的界线更为合理。除S,Hg外,Cu,Ni,As,Cd,Zn,Mn元素均在LB13附近产生异常最大值,说明这些元素的污染源是同源的;而S,Hg污染源是同源的。

对于Cu,Ni,As,Cd,Zn,Mn异常元素的来源,根据原异常的整体形态和实地调查结果,该异常距

离制药厂、热电厂、化工厂较近(图1),这些工厂产生的废水中往往含有较多的Ni,As,Cd等重金属元素。含有重金属的污水经向北的排污沟到达污水处理厂,而异常恰位于排污沟的中部。可以得出结论:城区西部Cu,Ni,As,Cd,Zn,Mn异常的形成主要与上述工厂所排放的污水有关。

对于Hg,S异常来源,根据Hg,S异常分布面积广,富集系数大的特点,初步判断主要是由烟尘污染所致,由于南部化工厂、热电厂均用煤作为燃料,煤中含有较多的Hg,S,通过煤的燃烧排放出大量含Hg,S的化合物;此外居民生活和汽车尾气也排放出

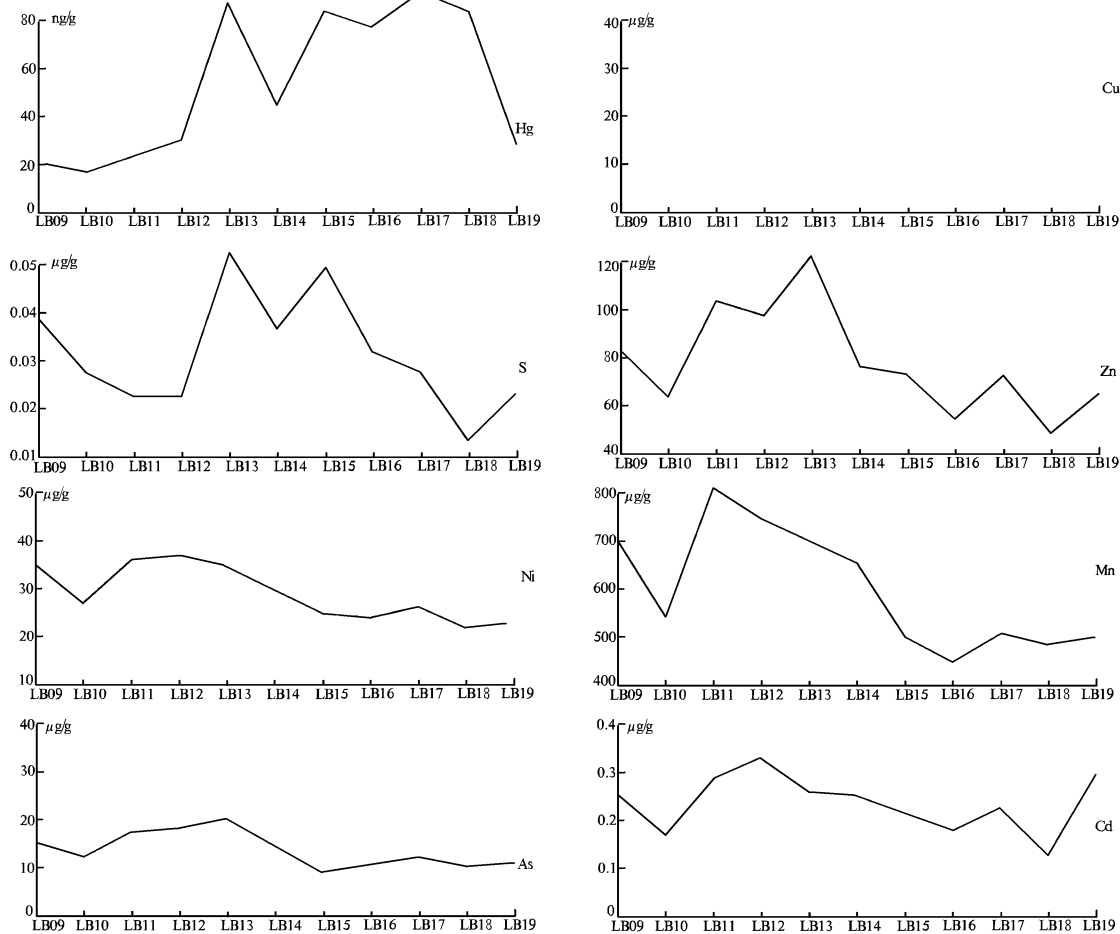


图3 平阴城区土壤水平剖面空间含量变化图

大量含 Hg, S 物质, 这些化合物形成的颗粒物降落到地面积累形成异常。

### 3.3 异常效应评价

从土壤环境质量评价结果来看, 该异常区中部土壤质量属 II 类土壤区, 其他均属 I 类土壤区。这些元素虽然多年累积, 但由于土壤呈碱性 (pH 值 7.81), 限制了这些元素的活性, 一般没有对作物造成危害。但是, 随着近年来周围环境的变化, 特别是南部化工厂、热电厂产生大量 SO<sub>2</sub>, 将逐渐导致这一带土壤 pH 值降低, 使得早已累积的 Hg, As, Cd, Zn 等元素活化, 毒性发作并危害农作物。特别是 Cd 的硫酸盐为易溶物, 对植物的危害更大<sup>[4]</sup>。

## 4 结论

通过异常查证, 证明平阴城区及西部农田区以重金属为主的异常是存在的, 西部农田区异常是以

As, Cd 为主要成分, 土壤常量组分及其所决定的土壤质地是导致异常形成的主要因素, 而人类活动是土壤异常形成的次要因素。平阴城区异常是以 S, Hg, Cu, Ni, As, Cd, Zn, Mn 等元素为主的异常, 是典型的在地质背景下受人为综合因素 (化工烟尘、工厂污水、生活垃圾) 产生的异常。建议控制污染源, 科学合理施肥, 继续保持土壤碱性环境, 对平阴城区及郊区农田被污染和危害发作的潜在危险应该引起足够的重视。

### 参考文献:

- [1] 庞绪贵, 代杰瑞, 徐春梅, 等. 平阴县土壤地球化学基准值与背景值研究[J]. 山东国土资源, 2008, 24(1): 21-25.
- [2] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 116-149.
- [3] 孙彬彬. 黄河下游山东段沿岸土壤中重金属元素异常成因研究[J]. 地质通报, 2008, 27(2): 266-270.
- [4] 曹淑萍. 重金属污染元素在天津土壤剖面中的纵向分布[J]. 地质找矿论丛, 2004, 19(4): 270-274.

## Study on Origin of Heavy Metals Abnormalities in Soil in Pingyin County

DAI Jie - rui, PANG Xu - gui, WANG Hong - jin, ZENG Xian - dong, HU Xue - ping, LI Xiao - peng

(Shandong Geological Survey Institute, Shandong Jinan 250013, China)

**Abstract:** Through survey on samples gained from agricultural soil in surrounding areas and western Pingyin county, it is regarded that abnormal elements surrounding Pingyin county has the characteristics of high abnormal contrast and high enrichment factors, while the elements in western agricultural land has the characteristics of abnormal relationship between the nested elements, low abnormal contrast and low enrichment factors. As showed by the results, As, Cd are major abnormal elements in western abnormal farmland area. There is a significant relation between elements components and constants as  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  and  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Elements components will descending along with the content increasing of  $\text{SiO}_2$ , while it will increasing with the content increasesing of  $\text{Al}_2\text{O}_3$  and  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . It showed that soil constant component and soil texture are major factors in the formation of abnormality; while abnormal elements in Pingyin city are mainly composed of S, Hg, As, Zn and Mn. It is a typical abnormality caused by human pollution (chemical smog, factory waste water, solid waste) .

**Key words:** Soil; heavy metal elements; element abnormality; soil texture; Pingyin county