

南京地区土壤元素的人为活动环境 富集系数研究

廖启林 金 洋 吴新民 毕葵森 范迪富 华 明

(江苏省地质调查研究院, 江苏 南京 210018)

摘要:南京周边地区开展多目标地球化学调查获取了“双层土壤”各元素的含量,表层土壤的元素含量与其深层土壤元素含量之比值即称之为土壤中该元素的人为活动环境富集系数(简称环境富集系数),笔者介绍了有关环境富集系数的计算方法。通过对比研究区各元素环境富集系数分布特征,发现本区表层土壤中 Si、Ti、La、Ce、Y、Sc、Zr、Th、U、W 等元素与其自然土壤环境的含量相近,S、N、P、Hg、Pb、Cl、Br、Se 等元素及有机碳呈现了显著的人为环境富集,I、Fe、Mg、Mn、Ca、Al、K 等元素出现了地表贫化。最后探讨了深入开展土壤中元素环境富集系数研究的相关问题,并提出了建议。

关键词:人为活动环境富集系数;元素;土壤;南京地区

中图分类号:P596 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-3657(2005)01-0141-07

伴随地质资源开发利用过程中所出现的生态环境问题正受到包括地质学在内的各相关学科的空前关注,与生态环境地质相关的边缘学科正在蓬勃兴起^[1-3],近 10 余年来国内外有关地质学、环境科学领域所发表的生态环境地质方面的学术论文呈非常明显的上升趋势,而运用地球化学手段研究以土壤为代表的表生介质中一些元素(尤其是重金属元素)的化学行为又是颇具影响的一个方向^[4-9]。中国地质调查局正在全国范围内组织实施的多目标地球化学填图工程堪称借助地球化学方法解决或探索生态环境地质问题的一个有巨大影响的典范,目前已有众多学者专家撰文报道或介绍了这方面的有关认识与成果^[3,10-25]。“江苏省国土生态地球化学调查”项目作为中国地质调查局正在实施的全国多目标地球化学填图工程的重要组成部分,目前已获得南京及其周边地区“双层”土壤中 54 项指标的高质量地球化学数据,笔者在利用这批多目标地球化学填图数据评价南京及其周边土壤环境质量过程中发现了各元素的表生地球化学行为存在一些差异,其环境富集系数的分布分配具有值得专门探讨的学术价值,笔者专门对该区土壤中部分元素的环境富集系数及其特征、意义做一简介。

1 研究区概况

研究区主要包括南京市、镇江市和扬州市部分国土,总面积约 13 600 km²。区内水系发育,河网纵横,交通便利,人烟稠密,工农业生产均较发达。其基岩出露面积约占总面积的 20%、第四系厚层覆盖区约为 80%。本区地貌以冲积平原和黄土垆岗为主,另有少量低山丘陵,黄土垆岗标高一般 10~50 m,冲积平原标高一般为 0~10 m,全区最高峰紫金山标高 448 m。南京市地形复杂,低山、丘岗和谷地平原相间展布,其中低山丘岗区约占总面积 2/3,主要分布于老山山脉。全区第四系厚层覆盖区分为不同类型,中更新统为融冻泥流堆积,上更新统以风成为主,残坡-坡洪积次之,全新统则以冲积为主。浅表的第四系主要由全新统和上更新统构成,其土壤类型包含了水稻土、黄棕壤、潮土、沼泽土、红壤、紫色土、石灰岩土等,其中水稻土、黄棕壤、潮土为研究区最常见的土壤类型。按照取样深度 0~20 cm、1 km² 采集 1 个单样、4 km² 分析 1 个组合样的工作网度共分析测试本区表层土壤样品 3 397 件,按照采样深度 150~200 cm、16 km² 采集 1 个样品、单样分析的工作网度(新《规范》执行的深层样网度是 4 km²

收稿日期:2004-03-03;改回日期:2004-11-11

基金项目:中国地质调查局地质大调查项目(20031230008)资助。

作者简介:廖启林,男,1964 年生,博士,高级工程师,从事地球化学与矿床学研究;E-mail:liaoqilin64@jssmail.com.cn。

采集一个子样、16 km² 分析一个组合样,本工作为之前完成)共采集并分析测试其深层土壤样品 834 个,分析了土壤样品的 52 个元素全量、有机碳含量及 pH 值,全部样品分析测试由原地质矿产部南京岩矿测试中心完成。本区土壤地球化学调查基本成果笔者曾另文做过报道^[5]。

2 人为活动环境富集系数及其计算

土壤中元素的人为活动环境富集系数(以下简称“环境富集系数”,余同)笔者定义为:同一空间同一片土壤中某一元素在表层土壤的含量与其在深层土壤的含量之比值,也就是用研究区同一范围之内某元素在 0~20 cm 深度土壤的含量除以同一元素在 150~200 cm 深度土壤的含量,全为无量纲。具体计算采用了 2 种方法,其一是利用每 16 km² 内 1 个深层土壤样的元素含量为该范围的深部土壤(代表未受人类活动影响的第一环境即自然环境土壤)元素含量值,将其对应的这 16 km² 上部的表层土壤 4 个分析样(极少数情况下该 16 km² 范围内的表层土壤分析样品数小于 4 个)同一元素的平均含量作为其表层土壤(代表受人类活动影响的第二环境即人为环境土壤)的元素含量值,4 个含量数据之间的变异系数大于或等于 50%时取其几何平均值,变异系数小于 50%时取其算术平均值,再用这 16 km² 土壤的表层元素含量除以其深层元素含量,共得到研究区土壤每个元素的 834 个环境富集系数。其二是依据每 4 km² 有 1 个表层土壤元素含量,将该含量作为该范围内表层土壤的元素含量,以其所对应的 16 km² 内深层土壤元素含量作为其深部土壤元素含量值,一个深层数据一般重复使用 3 次,同一元素深、浅层土壤 2 个含量值相除,共得到研究区土壤每个元素的 3397 个环境富集系数。元素环境富集系数大于 1.5 者表示发生了强烈富集,小于 0.6 者表示发生了显著贫化,计分为 6 个区间(表 1)。

表 1 土壤中元素的环境富集系数分类

Table 1 Classification of environmental concentration coefficients of elements in soils

表生富集系数	代表的富集程度	建议成图用色
>4.0	极强富集	紫红
1.50~4.0	强富集	大红
1.15~1.50	弱富集	浅红
0.85~1.15	背景(基本自然状态)	黄
0.6~0.85	弱贫化	浅蓝
<0.6	强贫化	蓝

3 环境富集系数基本分布特征

研究区土壤中代表性元素的环境富集系数见表 2,从表 2 可看出,按上述 2 种方法所求得各元素的环境富集系数之统计结果绝大部分都相当吻合,说明以上 2 种计算方法用于研究本区土壤的元素环境富集系数都可行,按第二种方法

即每 4 km² 保留一个数据成图效果更为理想(图 1)。对本区土壤元素的环境富集系数分布分配特征做一初步比较与归纳,可发现本区土壤中元素的表生地球化学行为及其环境富集系数分布具有如下特点。

(1)S、Hg、N、Se、Br 等元素及有机碳(C_{org})发生了明显人为活动环境富集,其环境富集系数 70%以上都大于 1.5,以 S 和有机碳的富集最为强烈,其富集系数有 60%以上都大于 4,重金属元素中仅有 Hg 呈现了强烈的富集(其环境富集系数大于 1.5 的为 85%以上、大于 4 的为 35%以上)。这些元素在土壤中发生强烈地表富集显然与人类活动所产生的后期叠加密切相关;

(2)Cd、Cl、P、Sn、Au、Ag、Mo、Pb 等元素发生了初步强烈的地表富集,其环境富集系数有 55%以上集中分布在 1.15~4 区间,大于 1.5 与小于 1.5 的比例接近。以上元素都是与工农业生产活动关系比较密切,其使用又受到人类活动一定程度的自觉限制,表层土壤中这些元素的相对富集,总体上还是反映了人类活动对地表土壤化学组分改变的影响;

(3)Si、Ti、Ce、La、Y、Ba、W、Sr、U、Th、Na、Sc、Zr 等元素含量基本保持“自然背景”状态,其 50%以上的环境富集系数分布在 0.85~1.15 这一区间,表明这些元素与其自然环境土壤中含量相比,其地表富集与贫化均不明显,这与上述元素地球化学活性不是很强、参与人类活动在地表环境重新循环分配的几率较少有直接联系。B、Zn、Cu、Bi 等元素呈现环境弱富集并接近“自然背景”状态,与其生态地球化学学习性虽比较活跃,但地表地球化学环境下多呈稳定态有一定联系。可以将以上元素统称为自然背景+环境弱富集型;

(4)F 及铁族元素(Fe、Cr、Ni、Co、V 等)呈现了弱环境贫化,其 25%以上的环境富集系数<0.85,75%以上的环境富集系数低于 1.15,这些元素为何在表层土壤中出现了一定程度的贫化?其原因还不是很清楚,可能与人为利用、地表流失有某种联系。元素 F 是所有 50 多个元素中用两种方法计算其环境富集系数,分布峰区与次峰区(百分比最高与次高)误差超过或接近 10%的唯一元素,推测与其自然土壤环境中分布不均匀有一定联系;

(5)I、Ca、Mn、As、Mg、Sb、Li、Al、K 等元素呈现了明显的地表贫化,其环境富集系数 80%~90%以上低于 1.15,或其环境系数有接近或大于 10%的<0.6,这些元素又刚好是生物环境活跃元素及红土化淋失成分,与地表环境下利用生物积累大量吸收了自然土壤中的组分有联系,同时也与土壤的自然淋失过程使原来土壤中的组分不断向深部迁移有某种联系,总体反映了人为影响与自然作用对地表土壤环境的综合影响。

4 讨论与结论

(1)通过对本区土壤 40 多个元素的环境富集系数的系统对比与分析,可以看出各元素之间因其地球化学学习性的差异和受人类活动影响程度的差异及其他相关因素的影响,不

表 2 南京周边土壤部分元素的环境富集系数分布(%)
 Table 2 Distribution of environmental concentration coefficients
 of some elements in soil in Nanjing and its surrounding areas(%)

元素	<0.6		0.6 ~ 0.85		0.85 ~ 1.15		1.15 ~ 1.5		1.5 ~ 4		>4	
	方法 1	方法 2	方法 1	方法 2	方法 1	方法 2	方法 1	方法 2	方法 1	方法 2	方法 1	方法 2
C _{org}	0.1	0.2	0.4	0.4	1.2	1.2	1.7	2.1	34.3	34.9	62.4	61.2
S	0.6	0.9	0.8	1.5	3.1	3	2.2	2.6	31.8	31.4	61.5	60.7
Hg	0.2	0.5	1.4	1.9	2.8	3.7	4.8	6.7	52.8	51.7	38	35.4
N	0	0.1	0.5	0.6	1	1	2.2	2.5	69.3	67.1	27.1	28.7
Se	0.4	0.4	1.7	1.6	4.6	5.7	9.8	9.1	56.1	55.7	27.5	27.4
Br	1	1.6	3.1	4.4	9.6	9.3	11.5	12	53.5	50.2	21.3	22.5
Cd	1.3	1.9	2.3	4.2	16.3	16.7	26.1	25	50.7	49	3.2	3.2
Cl	1.2	1.6	3.8	5.4	17.4	18	32.9	30.8	44.4	43.3	0.4	0.9
P	0.8	1.4	3.6	5	16.3	19	33.5	30.4	45	42.9	0.8	1.5
Sn	0.2	0.7	5.8	9	18.8	21.3	23.5	21	48.1	42.8	3.6	5.2
Au	2.4	4.3	5.5	9.5	14.7	15.9	19.1	17.5	47.8	42.5	10.4	10.3
Ag	2.5	3.9	9.5	12.2	27.6	28.1	26.6	21.3	32.5	32.9	1.3	1.6
Mo	1.3	2.4	10.1	13.8	29.4	26.4	29.6	25.8	28.5	29.8	1.1	1.8
Pb	0.1	0.4	2.4	2.5	28.8	31.5	43.9	40.9	24.1	23.9	0.7	0.8
Si	0	0	0.1	0.4	95.4	92.7	4.3	6.9	0.1	0.1	0	0
Ti	0.1	0.1	1.6	2.1	92.4	91.1	5.6	6.4	0.1	0.3	0.1	0
Ce	0.5	0.5	4.3	5.3	88.4	86	6.7	8.1	0.1	0.1	0	0
La	0.5	0.4	5.4	6.5	86.3	84.5	7.7	8.6	0.1	0	0	0
Y	0	0.1	1.6	2.1	81.8	79.2	16.3	18.1	0.4	0.4	0	0
Ba	0	0.3	13.5	15.6	77.7	73.7	8.2	9.4	0.6	1	0	0
W	0.1	0.4	5.8	8	73.3	69.6	17.4	17.8	3.4	4.3	0.1	0
Sr	1	1.4	14.9	15.4	62.1	61.8	17.9	16.9	4.2	4.4	0	0.1
U	0.5	0.4	15.6	16.4	64.7	62.8	18.3	19.3	0.6	0.9	0.2	0.1
Th	0.1	0.7	10.1	13.4	68.7	58.4	18.9	24.4	2	3.1	0.1	0
Na	0.6	1.6	12.9	14.9	60.8	57.5	16.9	16.7	8.2	8.9	0.6	0.5
Sc	0.8	1.4	35.7	33.7	53.4	53.2	9.2	10.8	0.7	0.9	0.1	0
Zr	0.6	0.8	7.6	8.8	55.4	52.4	34.2	35.6	2.3	2.4	0	0
B	0	0.9	14.6	16.7	54.8	50	26	26.1	4.3	6.1	0.2	0.2
Zn	0.8	1.1	12.4	14.7	45.8	45.3	28.4	26.8	12.5	11.5	0.1	0.5
Cu	0.7	1.2	15	17.3	45.7	44.1	21	21.7	17.3	15.1	0.4	0.5
Bi	0.5	0.6	5.4	7.5	42.9	42.7	27.3	25.3	22.3	22.2	1.6	1.7
F	0.7	2	31.5	41	50	36.1	14.5	16.6	3.2	4.3	0	0
Fe	1.1	1.9	38.7	38.9	48	45.7	10.9	11.7	1.3	1.8	0	0
Ni	3.1	4.2	37.3	38	43.8	40.8	12.8	13.5	3	3.5	0	0.1
V	0.1	0.5	32.1	31.7	54.6	52.5	12.2	13.7	0.8	1.6	0.1	0
Cr	0.5	0.9	22.2	24.1	67.3	63.4	9.1	10.3	0.8	1.3	0.1	0
Co	4.3	4.8	21.8	24	57.2	51.7	14	15.9	2.5	3.7	0.1	0
I	19.5	24.1	20.6	17.6	19.5	17.9	13.4	12	22.7	23.5	4.2	4.9
Ca	12.4	13.9	19.7	20.1	36.2	35.7	18.5	17.4	12.7	12	0.6	0.9
Mn	9.4	11.4	31.5	32	38.1	33.9	13.1	13.8	7.8	8.6	0.1	0.2
As	5.9	8.2	37.3	36.4	30.9	30.6	11.9	10.5	13.5	13.6	0.5	0.6
Mg	4.3	6.8	47.5	44	39.1	38.5	7.2	8.6	1.9	2.1	0	0
Sb	1.2	2.1	16.4	18.2	44	41.7	18.7	19.2	19.2	18.3	0.5	0.5
Li	1.1	1.6	37.6	37.2	47.7	45.4	11.3	12.7	2.3	3.1	0	0
Al	0.6	0.7	36	34.7	57.2	56.4	6.1	8.1	0.1	0.1	0	0
K	0	0.1	22.9	22.8	70.3	68.4	6.6	8.2	0.1	0.4	0.1	0.1

注:方法 1 的总样品数为 834 件,方法 2 的总样品数为 3397 件。

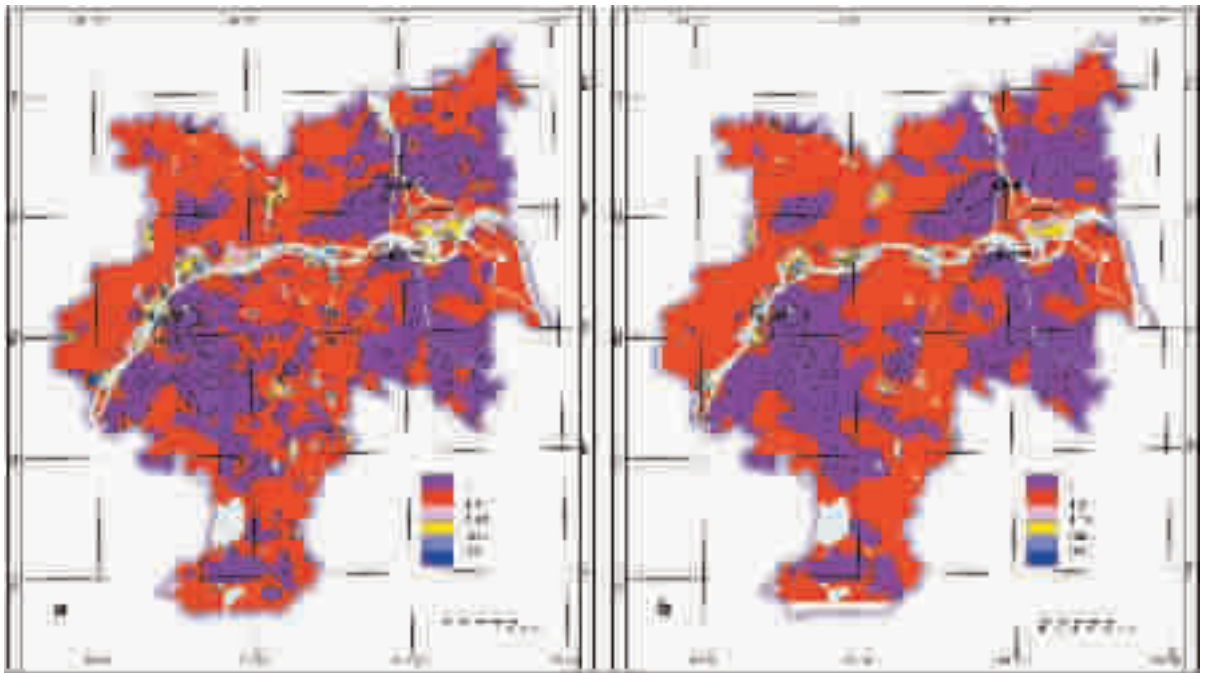


图 1 南京周边地区土壤汞环境富集系数分布

a—按方法 2(4 km² 一个数据)成图;b—按方法 1(16 km² 一个数据)成图

Fig.1 Distribution of Hg environmental concentration coefficients of soils in the Nanjing area

a—By the 2nd method (one datum per 4 km²); b—By the 1st method (one datum per 16 km²)

同元素之间的表生地球化学行为是存在较大差别的。稀土元素(La、Ce、Y等)与Ti、Si、Sc、Zr、Th、U、W、Ba、Sr等元素其环境富集系数大多接近1,其表土与自然土壤环境中含量非常接近,这显然与这些元素地球化学活性相对较弱、表生状态下多为稳定元素有关,说明人为地质作用对其地表地球化学行为影响不是很明显;S有机碳的环境富集系数大部分超过4,在土壤中已发生了极强烈的地表富集,显然与人类的农业耕种改造、人类工农业生产所带来的后期叠加有密切联系;I铁族元素、Mg、Ca、Mn、As、Sb、Al、K等元素出现了比较明显的地表贫化,其环境富集系数有1/3以上低于0.85,绝大部分环境富集系数低于1.15,这些组分主要与属于生物环境活跃元素及红土化易淋失成分有直接联系,这些元素中有相当一部分属于有益元素,容易被人为活动有意识地摄取与利用,同时因为土壤的淋失,使其中一部分元素自然向深部土壤迁移;N、P、Hg、Pb、Cl、Br、Se等元素也发生了比较明显的地表富集,其环境富集系数大部分超过1.5,显然这也与当地的工农业生产活动有不可分割的联系。应指出,本区土壤中Pb、Cl、Br、Hg等元素环境富集最强烈的部位及表层土壤最高含量分布区大多为城市土壤,化工与冶金企业较多是一大特点,证实这些元素的地表环境富集与人类工业活动有直接联系,这与前人发现的“距工业区远近”是南京市土壤Pb等重金属元素污染的主要影响因子^[9]的结论是一致的,说明Pb、Cl、Br、Hg

等有毒有害元素在土壤中的地表富集程度及其环境富集系数可以有效示踪一些工业活动对环境的影响。

(2)土壤中元素的环境富集系数作为表征第二环境(污染环境)相对于第一环境(自然环境)元素富集或受改造程度的一个客观量度或指标,对于有效鉴别表层土壤中局部富集的元素物质来源、认识元素的表生地球化学行为特征、研究元素的地表富集机理等具有单一的土壤元素含量地球化学图所不能替代的优点,因为环境富集系数虽是一个指标,却浓缩了2个土壤环境的元素含量分布情况,比单一表层或深层土壤元素地球化学图都更加真实全面。此次在南京周边地区新获得的表层土壤Cd地球化学图与其环境富集系数分布图所揭示的信息就存在一定差异(图2),从表层土壤的Cd含量分布来看,沿长江两岸冲积层其Cd的相对富集是非常清晰的,可以认为长江沿岸冲积层土壤中Cd相对富集是一个带有共性的问题;但若从本区土壤Cd的环境富集系数分布图来看,长江北岸冲积层土壤的Cd地表富集程度要明显弱于南岸,其地表富集程度最强烈的地区并非是完全沿着长江冲击层而分布的,这至少可说明同是本区长江两岸冲积层表土中相对高含量的Cd,其南、北两岸Cd的来源是有一定差异的,相比于南岸而言,其北岸冲积层中富集的Cd有更大比例是源于成土母质,而南岸表土中富集的Cd来源更要复杂,由此又可认为研究长江沿岸冲积层土壤的Cd相对富集

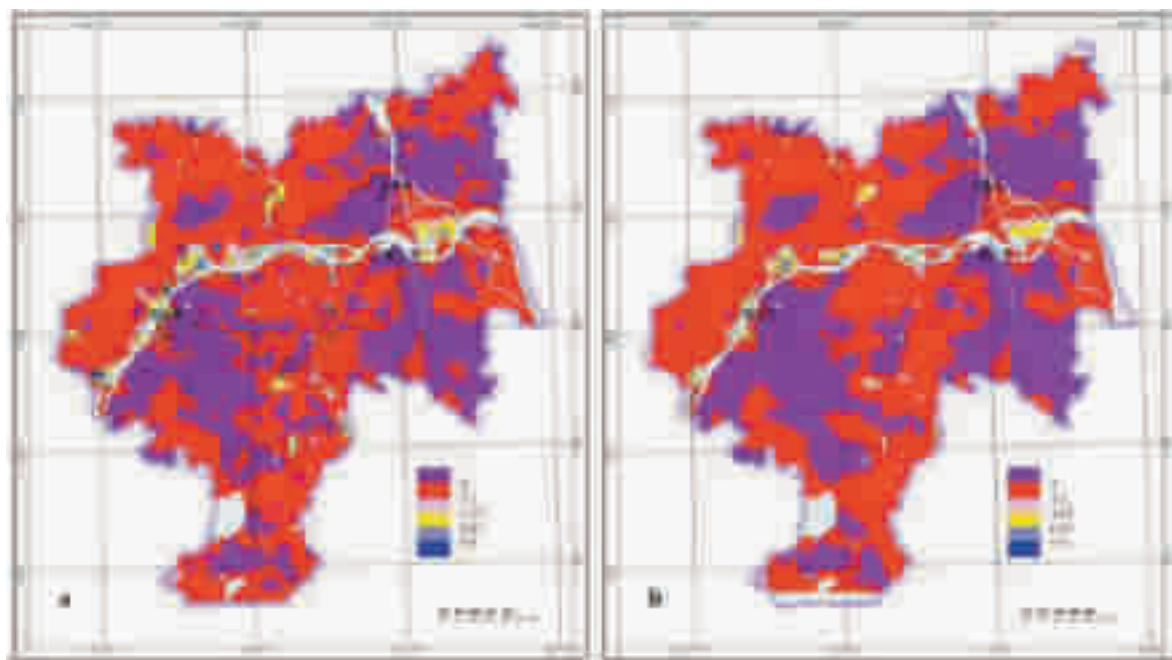


图 2 南京周边地区表层土壤镉地球化学特征
a—地球化学图(10^{-6});b—环境富集系数分布图

Fig.2 Cd geochemical diagnostic maps of topsoils in the Nanjing areas

a—Geochemical map(10^{-6}); b—Distributive map of environmental concentration coefficient

是一个必须考虑特殊性即个性的问题。准确把握区域土壤中元素环境富集系数所提供的综合信息,对于做好有关生态地球化学评价^[3]工作是有益的。

(3)从所介绍的 2 种计算土壤中元素环境富集系数的方法结果对比来看,绝大多数元素没有实质差别(表 2),2 种方法的 Hg 环境系数分布十分吻合(图 1)。F、Th、B 是 50 多个元素中两种方法所得环境富集系数峰区分布差异较显著的 3 个元素,F 的最大误差超过 10%,Th、B 最大误差接近或超过 5%,其差异原因可能与低含量分析数据存在系统误差,深部土壤元素含量局部不均匀有关,但总得来说上述两种方法的统计结果吻合程度还是非常高的,考虑到成图数据越多反映的信息越具体,建议以第二种方法(4 km² 取一个值)为主。全国多目标地球化学填图已经获得了两个土壤环境的大量元素含量,很容易编制各地土壤的环境富集系数分布图,从而可提供单一的表层或深层土壤地球化学图所难以直接反映的信息,建议有条件的地区尽量开展类似的探索与研究。

(4)土壤中元素的环境富集系数归根结底强调的是“人类活动”(第二环境)对原始土壤环境的影响程度,从目前在南京地区所得资料看,Cd、Hg、Pb 等有毒有害元素在表层土壤中的明显富集是一个区域性的问题,前人已临近的太湖地区发现了表层土壤中 Cd、Pb 等重金属元素有效态含量的累计速率要高于其全量^[4],也有学者发现了广州市郊区表层土壤中 Cd、Hg、Pb 等元素的有效态含量与其全量之比(即有

效性系数)是存在显著差别的,以 Cd 最容易被植物吸收^[6]。土壤中微量元素有效态含量对植物生长发挥着不可替代的作用,是酶、维生素、激素等成分的基本组成部分,直接参加有机体的物质代谢过程。因此,如何进一步开展本区土壤中地表富集效应明显的 Cd、Hg、Pb 等元素的有效态含量研究,使环境富集系数所揭示的信息有更具体的解释与应用,建立并完善本区地质环境生态适宜性评价指标体系^[4],是后续工作中要认真探索与解决的课题。

致谢: 本文是在“江苏省国土生态地球化学调查”项目(20031230008)前期部分研究资料的基础上加工整理而成,直接参加该项目研究工作的还有朱伯万、翁志华、陈宝、张祥云、黄顺生、冯金顺、葛云、孙磊、潘永敏、仇慎平、颜朝阳等同志,项目顾问薛水根教授给予了有益帮助和指教,江苏省地质调查研究院的领导及江苏省国土资源厅的分管领导对该项目工作给予了大力关照与悉心指教,江苏省地质调查研究院测试所提供了样品分析数据,在此一并诚挚致谢!

参考文献 (References):

- [1] 林景星,张静,史世云,等.生态环境地质学——21 世纪新兴的地球科学[J].地质通报,2003,22(7):459~469.
Lin Jingxing, Zhang Jing, Shi Shiyun, et al. Ecoenvironmental geology, a rising branch of earth science during 21st century [J]. Geological Bulletin of China, 2003, 22 (7): 459~469 (in Chinese)

- with English abstract).
- [2] 周爱国, 孙自永, 徐恒力, 等. 地质环境生态适宜性评价指标体系研究[J]. 地质科技情报, 2001, 20(2): 71~74.
Zhou Aiguo, Sun Ziyong, Xu Hengli, et al. Study of indexes for assessment of geoenvironmental ecology suitability[J]. Geological Sciences and Technology Information, 2001, 20 (2): 71~74 (in Chinese with English abstract).
- [3] 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 & Geochemical Exploration, 2004, 28(1): 10~15 (in Chinese with English abstract).
- [4] Borrego J, Morales J.A, Torre M L, et al. Geochemical characteristics of heavy metal pollution in surface sediments of Tinto and Odiel river estuary (Southwestern Spain)[J]. Environmental Geology, 2002, 41: 785~796.
- [5] Gäbler H-E, Schneider J. Assessment of heavy-metal contamination of floodplain soils due to mining and mineral processing in the Harz Mountains, Germany[J]. Environmental Geology, 2000, 39 (7) : 774~782.
- [6] 柴世伟, 温琰茂, 张云霓, 等. 广州市郊区农业土壤重金属含量特征[J]. 中国环境科学, 2003, 23(6): 592~596.
Chai Shiwei, Wen Yanmao, Zhang Yunni, et al. The heavy metal content character of agriculture soil in Guangzhou suburbs[J]. China Environmental Science, 2003, 23 (6): 592~596 (in Chinese with English abstract).
- [7] 张乃明, 李保国, 胡克林. 污水灌区耕层土壤中铅、镉的空间变异特征[J]. 土壤学报, 2003, 40(1): 151~154.
Zhang Naiming, Li Baoguo, Hu Kelin. The spatial variation characteristics of lead and cadmium in the soil of the sewage irrigation area [J]. Acta Pedologica Sinica, 2003, 40(1): 151~154 (in Chinese).
- [8] 钱建平, 张力, 刘辉利, 等. 桂林市及近郊土壤汞的分布和污染研究[J]. 地球化学, 2000, 29(1): 94~99.
Qian Jianping, Zhang Li, Liu Huili, et al. Soil mercury distribution and pollution in urban and suburbs of Guilin [J]. Geochemica, 2000, 29(1): 94~99 (in Chinese with English abstract).
- [9] Appleton J D, Ridgway J. Regional geochemical mapping in developing countries and its application to environmental studies [J]. Applied Geochemistry, 1993, (2): 103~110.
- [10] 杨忠芳, 陈岳龙, 汪明启, 等. 地球化学填图的国际研究现状及建议[J]. 地球科学进展, 2002, 17(6): 826~832.
Yang Zhongfang, Chen Yuelong, Wang Mingqi, et al. The status of international geochemical mapping and suggestions to Chinese mapping[J]. Advance in Earth Sciences, 2002, 17(6): 826~832 (in Chinese with English abstract).
- [11] 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, 2002, 21(12) : 809~816.
Xie Xuejing, Zhou Guohua. Multi-purpose regional geochemical mapping and multi-level environmental geochemistry monitoring network: its basic concept and methodology[J]. Geological Bulletin of China, 2002, 21(12) : 809~816 (in Chinese with English abstract).
- [12] 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.
Zhang Decun, Zhang Hongtai. Main results and significance of multi-purpose geochemical survey in the Jianghan Plain[J]. Chinese Geology, 2001, 28(12) : 1~4 (in Chinese with English abstract).
- [13] 赵琦, 成都市多目标地球化学调查和双层采样的效果[J]. 中国地质, 2002, 29(2) : 186~191.
Zhao Qi. Multitarget geochemical survey and results of double-layer sampling in Chengdu City[J]. Chinese Geology, 2002, 29(2) : 186~191 (in Chinese with English abstract).
- [14] 赵琦, 沈前斌, 曾祥贵. 四川省阿坝地区大骨结病区地球化学特征[J]. 中国地质, 2003, 30(3): 325~329.
Zhao Qi, Shen Qianbin, Zeng Xianggui. Geochemical characteristics of the KaschinBeck disease districts in the Aba area, Sichuan [J]. Geology in China, 2003, 30(3) : 325~329 (in Chinese with English abstract).
- [15] 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 of the Nanjing area and its relevant problems [J]. Geology in China, 2004, 31 (1) : 70~77 (in Chinese with English abstract).
- [16] 谢学锦, 程志中, 成杭新. 应用地球化学在中国的发展前景[J]. 中国地质, 2004, 31(增刊): 16~29.
Xie Xuejing, Cheng Zhizhong, Cheng Hangxin. Development prospects of applied geochemistry in China [J]. Geology in China 2004, 31(Supp.): 16~28 (in Chinese with English abstract).
- [17] 周国华, 汪庆华, 董岩翔, 等. 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(增刊): 40~44.
Zhou Guohua, Wang Qinghua, Dong Yanxiang, et al. Concept and methodology of agrogeological environment assessment in Zhejiang Province [J]. Geology in China, 2004, 31(Supp.): 40~44 (in Chinese with English abstract).
- [18] 朱朝晖, 宋明义, 覃兆松, 等. 土壤地质单位的建立与研究——以浙江省为例[J]. 中国地质, 2004, 31(增刊): 51~61.
Zhu Chaohui, Song Mingyi, Qin Zhaosong, et al. Establishment and study of soil-geological units: A case study of Zhejiang Province [J]. Geology in China, 2004, 31(Supp.): 51~61 (in Chinese with English abstract).
- [19] 傅俊鹤, 董岩翔, 周建华, 等. 第四系覆盖区元素地球化学制图方法新探[J]. 中国地质, 2004, 31(增刊): 62~66.
Fu Junhe, Dong Yanxiang, Zhou Jianhua, et al. Method of element geochemical map production used in Quaternary cover areas [J]. Geology in China. 2004, 31(Supp.): 62~66 (in Chinese with English abstract).
- [20] 张勤. 浙江农业地质环境土壤样品中 54 种指标配套分析方案和分析质量监控系统[J]. 中国地质, 2004, 31(增刊): 67~71.
Zhang Qin. A complete analytical scheme and an analytical data

- monitoring system for 54 components in soil samples of agrogeological environment surveys in Zhejiang Province [J]. *Geology in China*, 2004, 31(Supp.): 67~71 (in Chinese with English abstract).
- [21] 周国华, 董岩翔, 刘占元, 等. 杭嘉湖地区土壤元素时空变化研究 [J]. *中国地质*, 2004, 31(增刊): 72~79.
Zhou Guohua, Dong Yanxiang, Liu Zhanyuan, et al. Temporal-spatial variation of elements in soils in the Hangjiahu area [J]. *Geology in China*. 2004, 31(Supp.): 72~79 (in Chinese with English abstract).
- [22] 宋明义, 李恒溪, 魏迎春, 等. 杭州市萧山区农业地质环境功能分区及其意义 [J]. *中国地质*, 2004, 31(增刊): 80~86.
Song Mingyi, Li Hengxi, Wei Yingchun, et al. Agrogeological environmental function area division in the Xiaoshan District, Hangzhou and its significance [J]. *Geology in China*, 2004, 31(Supp.): 80~86 (in Chinese with English abstract).
- [23] 邴逸根, 薛生国, 吴小勇. 重金属在土壤-水稻系统中的迁移转化规律研究 [J]. *中国地质*, 2004, 31(增刊): 87~92.
Li Yigen, Xue Shengguo, Wu Xiaoyong. Transport and transformation of heavy metals in the soil-paddy plant system [J]. *Geology in China*, 2004, 31(Supp.): 87~92 (in Chinese with English abstract).
- [24] 唐根年, 陆景岗, 董岩翔, 等. 浙江省名茶产地分布规律及其土壤地质环境特征研究 [J]. *中国地质*, 2004, 31(增刊): 98~103.
Tang Gennian, Lu Jinggang, Dong Yanxiang, et al. Distribution of locations of famous tea and characteristics of the pedogeological environment in Zhejiang Province [J]. *Geology in China*, 2004, 31(Supp.): 98~103 (in Chinese with English abstract).
- [25] 王世纪, 吴小勇, 刘军保. 浙北地区土壤硒元素特征及其生态环境效应评价 [J]. *中国地质*, 2004, 31(增刊): 118~125.
Wang Shiji, Wu Xiaoyong, Liu Junbao. Characteristics of elemental selenium in soils and evaluation of eco-environmental effects in northern Zhejiang [J]. *Geology in China*, 2004, 31(Supp.): 118~125 (in Chinese with English abstract).
- [26] 吴新民, 潘根兴. 影响城市土壤重金属污染因子的关联度分析 [J]. *土壤学报*, 2003, 40(6): 921~928.
Wu Xinmin, Pan Genxing. The correlation analysis between the content of heavy metals and the factors influencing the pollution of heavy metals in urban soils in Nanjing city [J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2003, 40(6): 921~928 (in Chinese with English abstract).
- [27] 李恋卿, 潘根兴, 张平究, 等. 太湖地区水稻土表层土壤 10 年尺度重金属元素积累速率的估计 [J]. *环境科学*, 2002, 23(3): 119~123.
Li Lianqing, Pan Genxing, Zhang Pingjiu, et al. Estimating of decadal accumulation rates of heavy metals in surface rice soils in the Tai Lake region of China [J]. *Environmental Science*, 2002, 23(3): 119~123 (in Chinese with English abstract).

Artificial environmental concentration coefficients of elements in soils in the Nanjing area

LIAO Qi-lin, JIN Yang, Wu Xin-min, Bi Kui-sen, Fan Di-fu, Hua Ming
(*Jiangsu Institute of Geological Survey, Nanjing 210018, Jiangsu, China*)

Abstract: Data of contents of relevant elements from “double-layer” soils have been obtained during multi-target geochemical survey in Nanjing and its surrounding areas. The ratio of the content of an element in topsoils (depth 10–20 cm) to its content in deep soils (depth 150–200 cm) is called artificial environmental concentration coefficient in soils. This paper mainly introduces the calculating methods of the artificial environmental concentration coefficients. According to the distribution characteristics of the concentration coefficients of various elements in the study area, it is found that in topsoils of the area the contents of elements such as Si, Ti, La, Ce, Y, Sc, Zr, Th, U and W are close to their contents in the natural soil environment and elements such as S, N, P, Hg, Pb, Cl, Br and Se, as well as C_{org} show pronounced artificial environmental concentrations, while elements such as I, Fe, Mg, Mn, Ca, Al and K are depleted in the topsoils. Finally, problems relating to an intensive study of the artificial environmental concentration coefficients of elements in topsoils are discussed and some helpful suggestions are put forward.

Key words: artificial environmental concentration coefficient; element; topsoil; Nanjing area

About the first author: LIAO Qi-lin, male, born in 1964, Ph.D, senior engineer, engages in geochemical and mineral resource research; E-mail: liaoqlin64@jsoil.com.cn.