应用地质

土壤剖面元素分布及其地质、环境意义

周国华[1,2] , 马生明[1] , 喻劲松[1] , 朱立新[1] , 王　徽[1]
(1. 中国地质科学院物化探研究所 ,廊坊　065000 ;2. 中国地质大学 ,北京　100083)

[摘　要]土壤垂直剖面上物化性质、矿物和化学组成的深入研究 ,可以提供有关成土母质、成壤演化作用的重要信息 ,识别人类活动叠加的污染强度和影响深度 ,为土壤地球化学背景值调查、土壤污染及其生态环境影响的评价、环境地球化学灾害的监控与预警研究提供科学的方法和依据。根据广东珠江三角洲、湖北江汉平原、四川成都盆地部分土壤剖面实测资料 ,分析研究了土壤化学组成的剖面变化与成土母质类型及组成、土壤成熟度和污染影响的关系 ,探讨了土壤剖面地球化学特征的地质与环境指示意义 ,判断分析了土壤受到的污染叠加作用及其影响深度。

[关键词]土壤剖面　元素　表生作用　污染
[中图分类号]P595　[文献标识码]A　[文章编号]0495 - 5331(2002)06 - 0070 - 06

土壤是在漫长的地质年代里 ,在物理化学和生物作用下由基岩风化产物、各种松散沉积物(成土母质)发育形成的近地表自然介质。因而 ,解析土壤剖面地球化学组成特征有可能提供土壤形成的地质背景、成壤作用以及污染影响的重要信息[1~3]。本文以我国广东珠江三角洲、湖北江汉平原、四川成都盆地部分土壤剖面调查资料为依据 ,分析研究了土壤化学组成的剖面变化与成土母质、土壤成熟度和污染影响的关系 ,指出了土壤剖面地球化学特征的地质和环境指示意义。

1　样品采集与分析

根据珠江三角洲、江汉平原、成都盆地地形地貌、第四系地质、土地利用以及土壤类型分布 ,分别在典型地段布置了 7、12、4 个土壤剖面 ,由地表至 2 m 左右深度以 20～30 cm 长度连续采集土柱样 ,共采样品 175 件。土样装入布袋后风干、敲碎 ,用尼龙筛筛取 - 20 目部分 ,研磨至 - 180 目 ,送中国地质科学院物化探研究所中心实验室 ,采用等离子质谱法(ICP - MS)、X 射线荧光光谱法、原子荧光和原子吸收光谱法、发射光谱法等测定了 50 多种元素(氧化物)含量。其中 6 个剖面土样过 20 目筛后 ,由中国地质科学院矿产资源研究所采用布鲁克公司生产的 IFS25 型中红外光谱仪进行了矿物鉴定和定量分析。

受篇幅限制 ,本文仅列举部分土壤剖面进行分析 ,其地理分布、成土母质类型见表 1。

表 1　土壤剖面位置及其地形地貌、成土母质和土地利用情况

剖　面	分布地区	采样点位置	地形地貌	成土母质	土　地　利　用
1	江汉平原	天兴洲南岸	长江河漫滩	冲、洪积物	耕地
2	江汉平原	武汉东西湖区	围湖造田区	冲、湖积物	耕地
3	珠江三角洲	三水市华涌村	丘陵小盆地	坡、冲积物	耕地 ,水稻等大宗作物
4	江汉平原	黄坡县城东	山前平原	坡、冲积物	耕地 ,水稻等大宗作物
5	珠江三角洲	南海县大沥镇	开阔平原	冲、洪积物	耕地 ,水稻田种菜
6	成都盆地	双流中和场乡	开阔平原	冲、洪积物	耕地 ,水稻等大宗作物
7	成都盆地	成都城郊部	开阔平原	冲、洪积物	耕地 ,蔬菜为主

[收稿日期]2001 - 10 - 12 ;[修订日期]2002 - 02 - 04 ;[责任编辑]曲丽莉。
[基金项目]中国地质调查局地质大调查研究项目资助。
[第一作者简介]周国华(1964 年 -) ,男 ,1989 年毕业于长春地质学院 ,获硕士学位 ,高级工程师 ,现主要从事农业地球化学 ,环境地球化学及地球化学找矿方法技术研究工作。

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

2　土壤剖面元素分布与成土母质、土壤成熟度的关系

在无污染叠加的情况下,土壤元素含量及剖面(分层)分布特征取决于成土母质组成和成壤作用改造程度。成熟度高的土壤在物化性质、矿物和化学组成上往往具有良好的分层特征,这是由于在漫长的成壤作用过程中,成土母质经过深度的表生物理、化学和生物作用,随着原矿物的分解和新矿物的形成,化学元素经过活化迁移、分散富集、吸附沉淀等作用,得到了再分配和分异[4,5]。同时,土壤的形成也是一个复杂的生物作用过程,除了极端的热带高温气候和干旱荒漠景观外,多数情况下表层土壤相对富含有机质并呈粘土化,成为多种微量元素在表土中富集的重要原因[6]。成壤作用强度通常随深度的增加而降低,因此,土壤剖面底部的物质组成往往更接近于成土母质组成。时代较新的冲洪堆积,由于成壤作用弱、表生作用的改造程度低,其矿物和化学组成能更有效地反映原始沉积物的组成特征。

2.1　低成熟度土壤化学组成的剖面变化特征及其地质、环境意义

1) 冲洪积土壤

武汉天兴洲由全新统长江冲洪积物形成,剖面观察发现,土质属砂质、粉砂质粘土。浅层砂性重,粘土化程度低。有机质含量由地表向深部逐渐增加,无明显表层累积特征(图 1)。pH 值呈碱性,随深度变化不大。强表生活动性组分 CaO、Na_2O、Sr 等未曾经历活化迁移重分配而在剖面上部的含量高于下部。表明该处冲洪积物形成时间短、成壤作用弱、土壤物化性质尚未产生分层分异。该处土壤呈碱性,而多数微量金属元素在碱性环境中迁移活动能力弱[6],因此,包括重金属和稀土元素在内的多种元素在剖面深部的高含量主要由浅层呈砂性、深层富粘质的组分特征所决定,体现了原始岩性组成的特点。

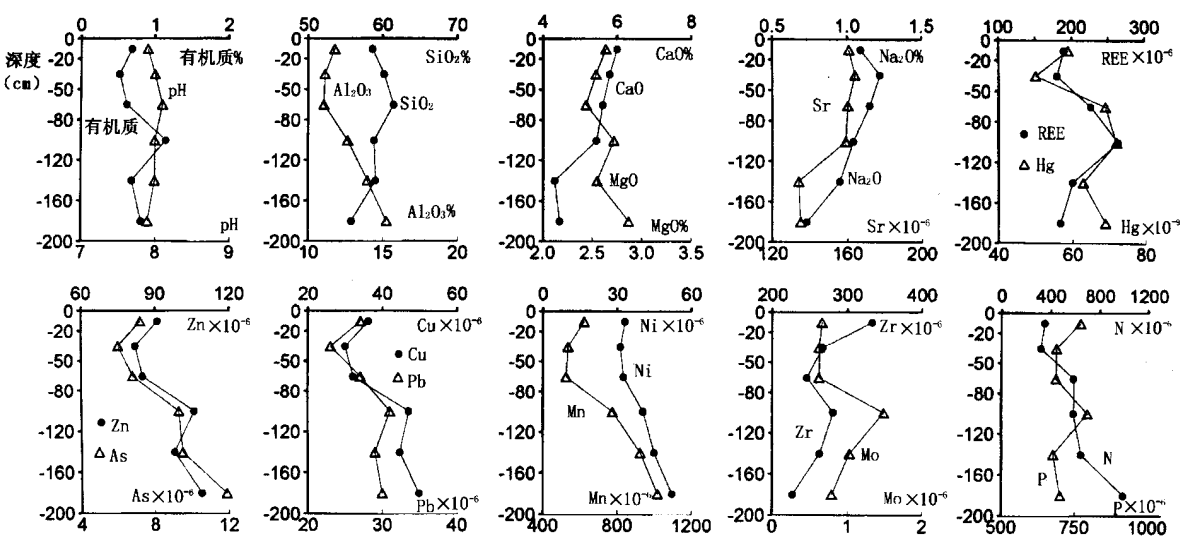


图 1　武汉天兴洲剖面

正是由于堆积时间短、表生作用改造程度低,各土层中矿物和化学组成基本代表了原始沉积物特征。因此,这类剖面所展示的物化性质、矿物和化学组成特征可以为沉积环境(洪水期水动力条件)、沉积物物源分析和污染历史研究提供直接证据[2,7]。

2) 湖泊沉积物土壤

武汉东西湖围湖垦区是在 1957 年前后通过围湖造田形成的,水退出露成陆时间短,土壤成熟度低。野外观察发现,由表层至深部土壤质地均为粘土质,颜色由灰黄色向青灰色过渡。土壤中水云母、高岭石类粘土矿物含量较丰富,与石英、长石相似随深度无明显变化(图 2)。浅层有机质较丰富,至 60 cm 以下基本无变化。反映了湖泊水动力条件、沉积物源相对稳定的沉积环境特征。

由浅层至深部 SiO_2、Al_2O_3、MgO、K_2O、Zr 含量无明显变化,表明原始沉积物组成较均匀、成壤改造程度较弱。Cu、Pb、Zn、Ba、Sr、Cr、REE 等多种微量元素在 20～40 cm 土层内呈异常富集分布,推断其原因有二:一是与该层位富含有机质有关,即沉积时由于有机质吸附作用引起元素富集;二是与铁锰氧化物吸附共沉淀有关。由元素(氧化物)剖面分布图可见,该层位恰好是 Fe_2O_3、Mn 富集层的顶面,采样

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

时见有锈斑发育,表层土壤元素经活化迁移至该层与铁锰氧化物结合是这些元素在该层位富集的可能原因。从元素的剖面分布形态分析,表生作用对元素分布的影响深度有限,剖面物化特征特别是较深层的矿物和化学组成基本上反映了原始湖泊沉积物特征,可以为湖泊沉积环境研究提供科学依据。

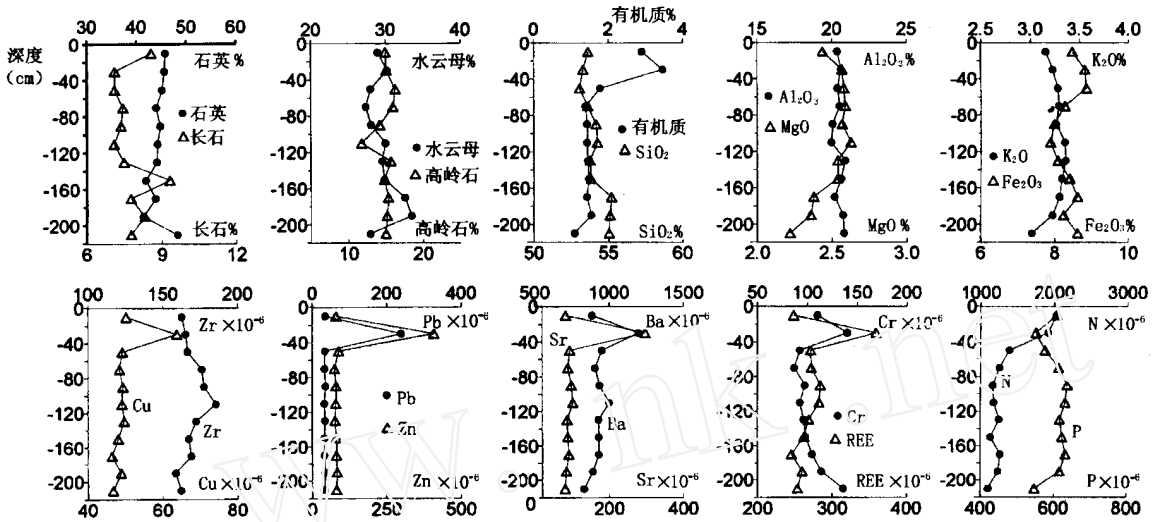


图 2 武汉东西湖区剖面

2.2 高成熟度土壤化学组成剖面变化特征及其地质、环境意义

除了上述特殊子景观区沉积成土时间较短外,我国冲洪积覆盖区形成的地质时期较为久远,土壤成熟度一般较高。在我国南方,分布广泛的水稻土是一类典型的成熟土壤,一般具有良好的分层特征。现以成土母质分类来举例说明物化指标、元素(氧化物)剖面变化特征及其地质、环境指示意义。

1)残坡积土壤

残坡积土是以原地或近源基岩风化物为成土母质发育形成的土壤。与水动力递变而易形成沉积韵律的冲洪积物有所不同,由于残坡积物的物源是基岩,土壤剖面所展示的物化指标、矿物和化学组成变化或分层实际上是风化成壤作用的结果。在成土时间长、气候温湿、植被发育、地形较平缓的有利条件下,可以形成成熟度高、发育良好的残坡积土壤。风化成壤的改造程度随深度增加而减小,土壤剖面的底部物质即为基岩风化产物。由于海拔高程的激烈变化、基岩岩性的多样性,决定了山地土壤类型的多样性和分布的复杂性。

广东三水市华涌村剖面是由自然赤红壤水耕形成的水稻土。成土母质源自周围山丘基岩风化形成的残坡积物。土层较薄,底部含有大量的基岩岩屑。有机质贫乏,表土有机质稍有富集。表土 pH 值为中性,下部为微酸性(图 3)。呈现良好的分层特征。

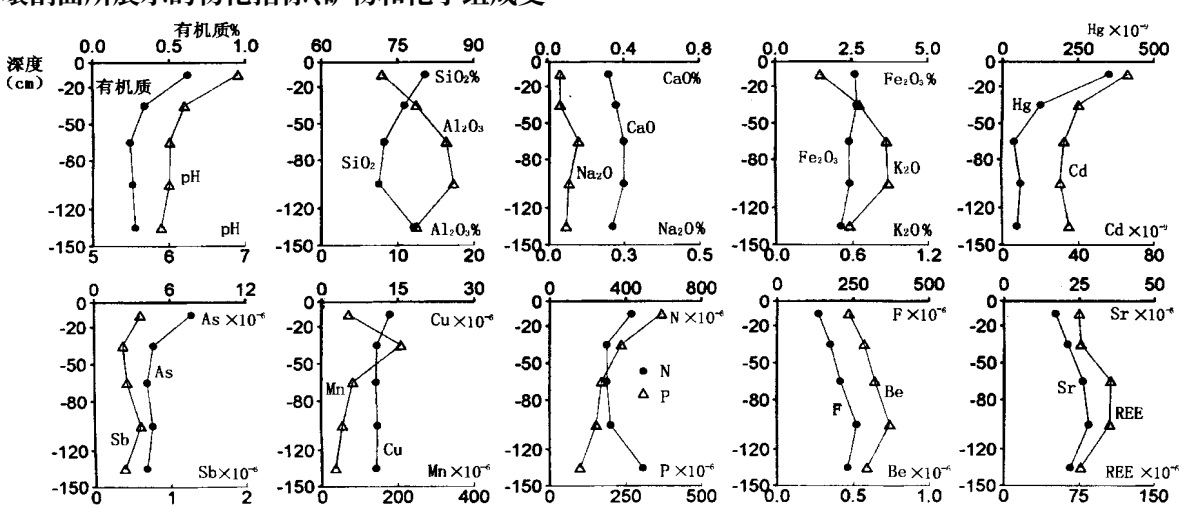


图 3 广东三水市华涌村剖面

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表层(耕作层)土壤中富集 Hg、Cd、As、P、Cu、Sb、N 等污染元素,多数元素含量向下很快过渡为起伏不大的背景值。Cu、Sb、N 等元素在表土中富集倍数较小,很可能为表生作用所致。N 除了在表层富集外,在 120 cm 以下深层土壤中含量异常高,这与土壤中 N 活动性较强经受淋滤向下迁移有关。Hg、Cd、P 在表层土中高度富集,至地表以下 50 cm 处即过渡为稳定的背景低含量,指示了表层土已受到一定程度的重金属污染影响,这种污染影响范围为土壤浅层 50 cm 左右。

其它多种元素(氧化物)呈表层贫化—中部富集—底部含量低的变化规律,与 Al_2O_3 含量变化耦合,与 SiO_2 变化曲线恰好相反,突出了粘土矿物含量对这些元素剖面分布的制约作用。此外,多种元素在剖面中部的富集还可能与该层位发育良好的铁锰氧化物(野外采样见有锈斑层)有关。强表生活动性元素 F、Be、Sr 在近地表 50 cm 土层内的贫化反映了这些元素经历了强烈的表生淋滤作用影响。

2) 冲洪积土壤

经过远距离搬运的冲洪积物,在矿物和化学组成上往往具有较好的均匀性。在一次洪水期可以在相对宽广的洪水泛滥区形成稳定的沉积层,由水动力递变而形成横向分异和纵向递变的沉积韵律层。

广东南海县大沥镇土壤剖面是由珠江冲洪积物发育形成的水稻土。剖面上部(地表至 80 cm 深左右)为亚粘土,向下过渡为亚砂土、砂土。分析表明地表至 100cm 富含水云母、高岭石类粘土矿物,向下则迅速减少或基本消失(图 4)。成壤作用固然可引起表土的粘土化、矿物组成的垂向变化,但矿物组成的这种截然变化显然与原始沉积物组成的变化有关。与矿物组成变化相类似,剖面上部有机质以及 Al_2O_3、Fe_2O_3、MgO、K_2O、Mn 等组分含量明显高于深部,SiO_2 则相反。

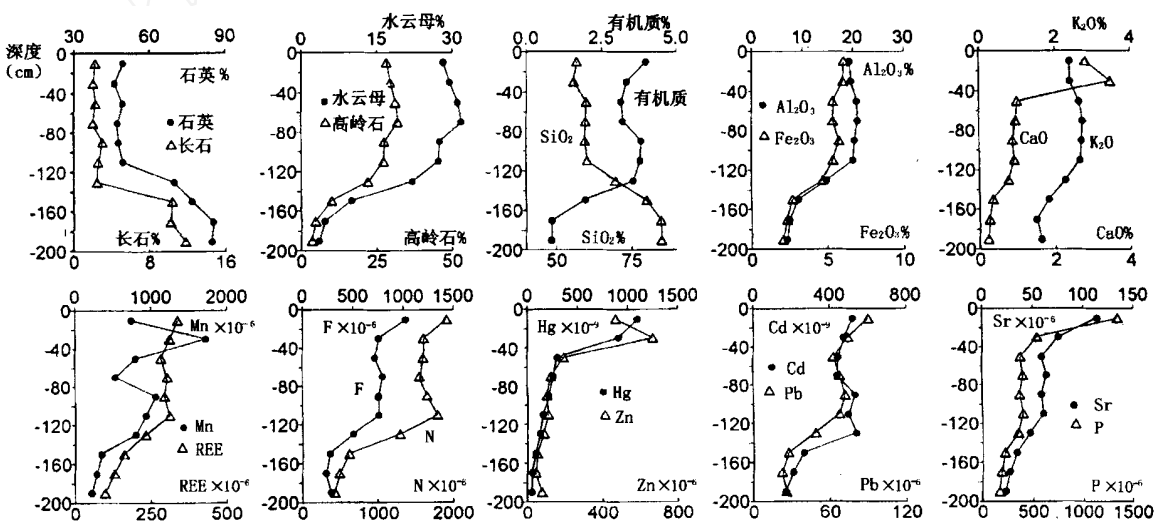


图 4　广东南海大沥镇剖面

绝大多数微量元素在土壤剖面上呈现规律性的变化趋势,即由地表向深处含量逐渐降低。按递变速率、含量曲线折拐点可将其分为二类:一类包括稀土元素以及 F、Cd、As、Co、Cs、Mo、Be、Bi、Nb、Ba、N、Ga、U、W、Th、Sc、Ti、V、Cl 等多种元素,富集于地表至 120 cm 土层内,递减折拐点位于 100～160 cm 层段内。这种分布除了与原始沉积物组成分层有关外,显然还与土壤粘/砂组成、有机质含量制约下的表生活化迁移、吸附沉淀再分配作用有关。从其在表土中富集程度较低来推测,污染叠加的影响不大。另一类元素包括 Zn、Pb、Cu、Hg、Sb、Sr、P、CaO 等,除了与第一类元素相同在 100～160cm 深度段具有一递减折拐点外,其中多种元素还在地表至 40 或 60 cm 的浅层土壤内含量激烈递减,呈强烈表土富集特征,推断属污染所致,其中 Sr、CaO 的表层富集可能与矿物磷肥施用有关。不难得出,元素在 100～160 cm 深度的含量变化主要是由原始沉积物组成所造成,而表层土壤中重金属等元素的含量衰减则主要与污染影响有关,由此推断污染深度为 60 cm 左右。

成都盆地双流县中和场乡剖面也是由冲洪积成土母质发育形成的水稻土。剖面浅层为粘质土,随深度增加砂质组分增加、粒径变粗,由浅层的粉砂至深部的粗砂、砾石、卵石,反映了水动力逐渐递减的沉积韵律特征。由地表至 100 cm 深处,有机质含量直线递减,其后含量基本稳定。上部土壤的 pH 值为弱碱性,向下过渡为碱性(图 5)。

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

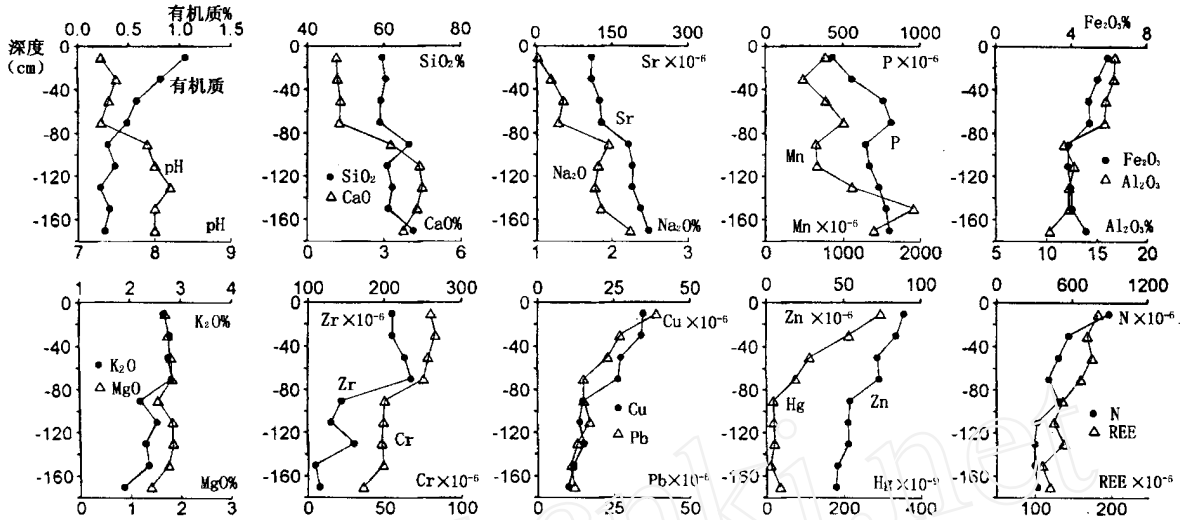


图 5 成都双流县中和场剖面

由地表至 80 cm 深度,SiO_2、CaO、Na_2O、Sr、P、Mn 等含量较低并有逐渐增长的趋势,再向下则骤然增加,而其它绝大多数元素(氧化物)含量则由地表向深部呈逐渐下降的趋势,与粘/砂组成、有机质变化相对应,推断这主要是由原始沉积物的粒级和矿物组成变化——沉积韵律所致。剖面上表生环境中稳定元素 Zr 的变化特征即是原始沉积物组成变化的重要证据。当然,不能排除由于表层土粘性重、富含有机质,表生作用使微量元素在表层和浅层土壤中得到进一步富集,以及重金属等元素受到污染影响的可能性。但从重金属污染元素的绝对含量、垂向递减速率以及周边环境分析,受污染的可能性不大,即使有污染其强度也较弱。

土壤剖面化学组成特征表明,尽管该处土壤成熟度高,经过表生作用改造并叠加了可能的污染影响,土壤化学组成已不同于原始沉积物,但原始沉积韵律分层特征依然可见,因而,剖面上物化组成特征可以为沉积环境研究提供了重要信息。

3 土壤剖面重金属元素分布与污染叠加作用

严格地说,当今世界已无净土可言,已在偏远的南北极冰雪、青藏高原土壤中检测到有机和重金属污染物。城市、矿山工业区、人口密集经济发达的平原区受到人类扰动的强度更大,污染物的累积和富集程度更加明显。与有机污染物可降解自净不同,重金属元素可经过长期不断累积而在土壤中得到富集。由于重金属元素在土壤中的迁移能力一般较弱,人类历史上采矿冶炼产生的污染可以保存于相应的沉积层中,近代由大气沉降、污水灌溉、施肥等带入的重金属则首先富集于表层土壤,在表生作用下得到活化迁移重分配。如前所述,这种改造作用与土壤质地及物化性质、作用的时间和强度、元素表生地球化学性质等因素有关[6,8]。如 R. Swennen 等研究比利时和卢森堡河漫滩沉积物剖面时发现,有些地区微量重金属元素的富集与沉积母质富含粘土有关,个别地区污染物在土壤深部的富集可能是由于浅层土壤为有机质含量低的砂质土、污染物向下淋溶而造成[7]。已对前面几个土壤剖面受污染叠加影响的可能性进行了分析判断。现另举一例进一步说明。

剖面位于成都市城郊结合部菜地内,周围密集分布工厂、居民点,不远处为成都市热电厂,环境污染较为严重。土壤类型为潮土。野外观察发现,剖面上土壤质地无明显变化,均为粘土质。随深度增加,有机质含量降低,pH 值增加。表层土为酸性,至 50 cm 左右过渡为弱碱性,之后基本稳定(图 6)。由土壤主成分 SiO_2、Al_2O_3、Fe_2O_3、MgO、K_2O、CaO、Na_2O 及弱表生活动性元素 Zr、Ta、REE 随深度变化不大,以及土壤质地无明显变化之特征,推断原始沉积物组成比较稳定,沉积韵律分层不明显。浅层土中典型污染元素 Hg、Cd、N、P、Cu、Zn、As、Sb 等含量异常高,并在地表至 80 cm 深度段内激烈下降,尤其是 Hg、N、P 元素。正常情况下,表层土呈酸性、深层土相对富 Mn、Al_2O_3、Fe_2O_3,表生作用下上述元素应富集于深部。因此,该剖面具有污染叠加的典型特征。可以推断,该剖面多种污染元素的污染影响深度为 100 cm 左右。

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

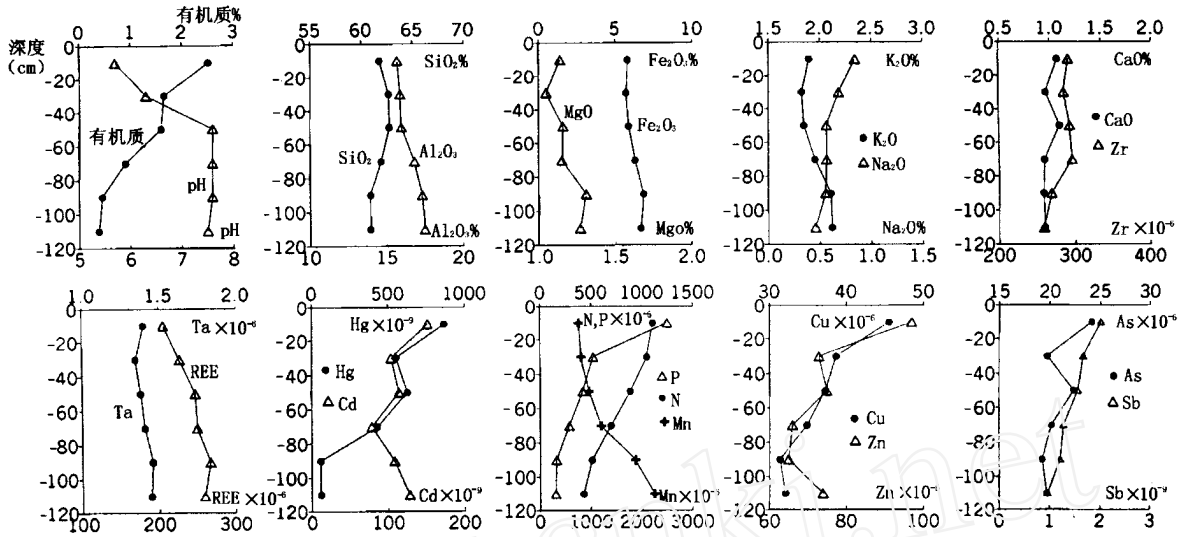


图 6　成都市剖面

4　结 语

由于成土母质组成、成壤改造作用以及污染叠加的综合作用,使土壤剖面上元素(氧化物)分布十分复杂。由本文所举例子可见,综合地形地貌特征以及土壤物化性质、矿物和化学元素(氧化物)的剖面分布,依据表生环境下元素地球化学活动性差异,经过层层解剖,有可能提取反映沉积环境及沉积物组成、表生地球化学作用以及污染叠加影响的重要信息。

土壤污染的长期累积性、治理修复的艰难性以及对生态环境影响的严重性和延时性,已受到人们的高度重视。深入的土壤地球化学研究是土壤地球化学背景值和基准值调查、土壤污染及其生态环境影响的评价、环境地球化学灾害的监控与预警研究的基础。土壤剖面分析是土壤地球化学研究的重要内容和有效方法,可以提供成壤演化作用过程的重要信息,识别自然表生作用和人类活动污染叠加影响,为污染评价提供科学的依据和方法。

[参考文献]

[1] 朱立新,马生明,周国华,等. 冲积平原区土壤元素组成特征及其示踪作用[J]. 地质与勘探,2002(4):56～59.

[2] X. Xie and H. Cheng. The suitability of floodplain sediment as a global sampling medium: evidence from China[J]. Journal of geochemical exploration, 1997, 58(1):51～62.

[3] A G Darnley, A Björklund, Bølviken, N Gustavsson, P V Koval, J A Plant, A Steenfelt, M Tauchid and Xie Xuejing. A global geochemical database for environmental and resource management - Recommendations for International Geochemical Mapping[R]. Final report of IGCP project 259, UNESCO Publishing, 1995.

[4] H D 福斯. 土壤科学原理[M]. 北京:农业出版社,1984.

[5] 陈怀满. 土壤 - 植物系统中的重金属污染[M]. 北京:科学出版社, 1996.

[6] 廖自基. 环境中微量重金属元素的污染危害与迁移转化[M]. 北京:科学出版社,1989.

[7] R Swennen, J Van der Sluys. Zn, Pb Cu and As distribution in overbank and medium - order stream sediment samples: their use in exploration environmental geochemistry[J]. Journal of geochemical exploration, 1998, 65(1):27～46.

[8] 范毓强. 环境中的镉[M]. 北京: 大百科全书出版社,1996.

VERTICAL DISTRIBUTION OF ELEMENTS IN SOIL PROFILES AND THEIR SIGNIFICANCE FOR GEOLOGICAL AND ENVIRONMENTAL

ZHOU Guo - hua[1,2], MA Sheng - ming[1], YU Jin - song[1], ZHU Li - xin[1], WANG Hui[1]

(1. *Institute of Geophysical and Geochemical Exploration, Langfang* 065000;
2. *China University of Geosciences, Beijing* 100083)

Abstract: Vertical distribution of elements in soil profiles was mainly controlled by their original sediment component, soil geochemical process and pollution. Therefore, analysis of element distribution in soil profiles can provide important information for sediment environment, geochemical process during soil forming and soil contamination. Some soil profiles in Guangdong, Hubei and Sichuan province has been provided. Vertical distribution of some physico - chemical indicators and elements were described. Finally, their geological and environmental interpretation was discussed.

Key words: soil profile, element, secondary geochemical process, pollution

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net