第 29 卷 第 1 期 长 春 科 技 大 学 学 报 Vol 29 No. 1
1999 年 1 月 JOURNAL OF CHANGCHUN UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY Jan. 1999

化学定时炸弹: 中国陆地环境面临的新问题①

成杭新 严光生 沈夏初 顾铁新 赖志敏
(国土资源部地球物理地球化学勘查研究所, 廊坊 065000)

摘要 根据中国环境地球化学监控网络第一次采样的结果, 发现中国东部, 尤其是华南地区, 是 Na_2O, MgO, CaO 的低背景地球化学区, Al 的高背景地球化学区, 这个独特的地球化学区, 恰好也是我国酸性沉降物的分布区, 由于持续的酸性物质沉降, 使这一地区成为对酸性物质沉降最脆弱的地区, 有可能导致土壤中 Al 的突然释放, 出现森林大面积突然死亡的环境危害。研究还发现, 该地区也是 Th、Cu、Cd、Ti、Au、B、Tl、W、Zn、Sb、Ag、I、U、As、Se、Mo、Bi、Rb、Ga、La、Ce、Y、Pb、Ge、Zr、Be、Nb、Sn 等 28 种元素的地球化学高背景分布区。随着土壤的 pH 值不断降低, 最终将导致这些金属中的一种或数种元素同时从土壤中释放, 有可能在不同的时间阶段及不同地区的大面积范围内出现不同元素的化学定时炸弹。

关键词 铝 化学定时炸弹 土壤脆弱度 中国
中图分类号 P595

第一作者简介 成杭新 男 34 岁 高级工程师 应用地球化学专业 已发表"Wide-spaced floodplain sediment sampling covering the whole of China: Pilot survey for International Geochemical Mapping"等论文

1 化学定时炸弹的概念

随着工业的发展和人口的增加, 剧烈的人类活动向自然界排放大量的化学物质, 而且正不断地打破自然环境的各种化学平衡。这种化学平衡条件的破坏, 加剧了岩石和土壤等自然介质的分解速率, 导致大量天然存在的化学物质由稳定状态转入活动状态, 并被释放到生态循环系统之中。人类活动和自然风化的联合作用, 使生态循环系统中化学物质的释放速率大于自然环境对这些化学物质的自净作用, 从而出现了 80 年代初期, 由于森林土壤 pH 值的改变使土壤中 Al 大量释放, 导致中欧森林突然大面积死亡[1], 及 90 年代我国内蒙古大面积人、畜突然 As 中毒等各种难以预料的环境突发事件, 严重威胁人类生存。正是在这种背景下, W. M. Stigliani 博士于 1991 年对化学定时炸弹(Chemical Time Bomb, 简称 CTB)作出如下定义: "化学定时炸弹的概念涉及一连串事件, 导致在土壤及沉积物中储存的化学物质由于环境的缓慢改变而活动化, 从而引发滞后而突发的有害效应"[1, 2]。

化学定时炸弹的概念提出后, 不但迅速受到欧洲各国的普遍重视, 也引起中国科学家和决策人的高度重视。谢学锦院士指出: "化学定时炸弹概念的提出是人类当前努力使人与自然协调的可持续发展中最后才被认识到的, 但是决不容忽视的重要环节", 并进一步指出"要以欧洲为鉴, 不仅要治理那些污染危害已极严重的局部性的工矿业点和城市, 而且要长期持续对全国进行监控"[3]。为此, 地矿部于 1992 年设置了题为"全国环境地球化学监控网络及全国动态地球化学图"的"八五"重大基础研究项目, 以期为今后连续监控中国大陆的环境变化奠定基础。本文作为该项目的部分研究成果, 初步探讨中国存在化学定时炸弹的可能性。

2 样品采集和分析测试

本项研究以泛滥平原沉积物为采样介质, 以 1 个样/1 000～10 000 km^2 的采样密度在全国 529 个超级汇水盆地出口处设置了 529 个采样站(图 1)。每个采样站采集两个泛滥平原沉积物样品: 一个地表样, 采样深度为 5～25 cm; 另一个为深部样, 采样深度为 80～120 cm。前者用来了解地表受现代工业污染的程度, 后者用来反映大规模工业化前的地球化学背景。泛滥平原沉积物是在大雨期间, 波及整个

① 地质矿产部"八五"重大基础研究项目(No. 850219), 并得到国家环境保护局的联合资助
收稿日期 1998-03-24

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

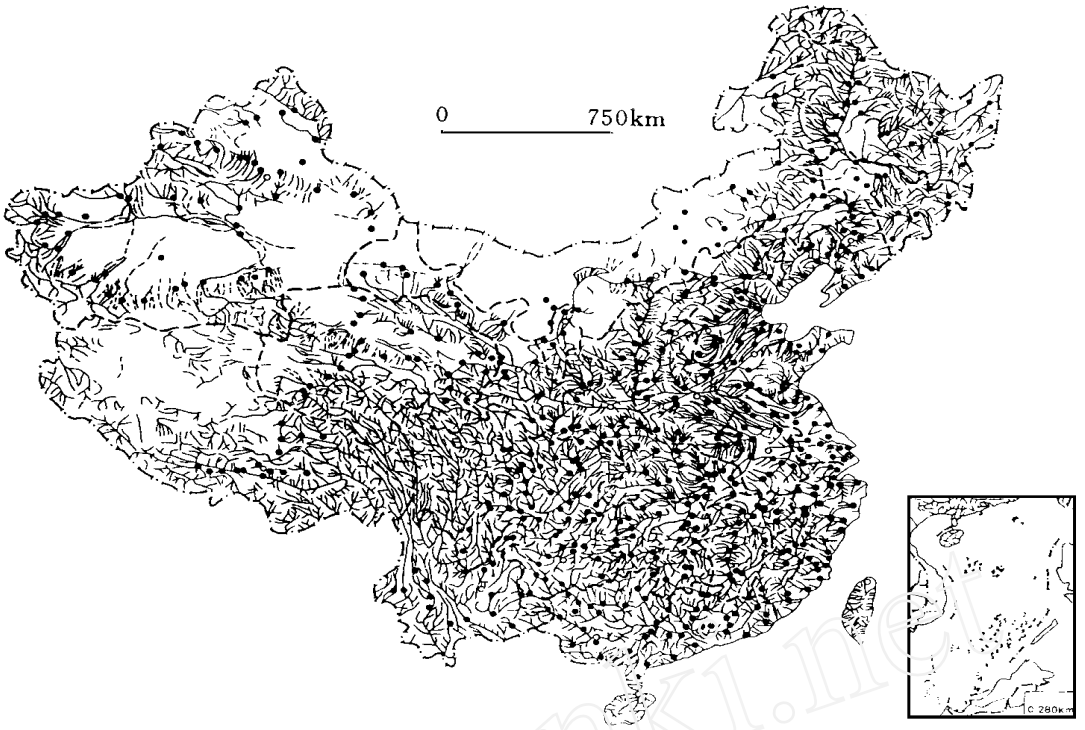


图 1　中国环境地球化学监控网络采样点位置

Fig. 1　Locations of sampling stations of environmental geochemistry monitoring network in China

流域的片流携带着大量的表层土壤物质汇集于水系后, 埋于河床外并在其两岸相对低平区域内沉积形成的天然组合样品。因此泛滥平原沉积物中元素的含量能代表超级汇水盆地内的整个元素分布状况。Xie and Cheng[4]、Cheng 等[5]、成杭新等[6,7]已系统证实了以 1 个样/1 000～10 000 km^2 的采样密度, 采集的泛滥平原沉积物具有采样代表性。对采集的所有样品采用无污染加工工艺加工到 180～200 目后, 根据国际地球化学填图的分析要求第一批测试分析了 50 个元素及土壤 pH 值。为了确保分析数据的质量, 分析过程中均按国际地球化学填图的分析要求, 用总样品数的 5% 国家一级标准样 (GSS1-9、GAu1-3、GPt1-3)、10% 的密码样品重复测试监控。从监控的结果来看, 分析数据质量可靠。

3　结果与讨论

中国潜在的环境危害, 主要由中国经济发展的模式与我国独特的地质地球化学背景共同决定。中国经济发展中对环境影响最大的因素之一是煤燃烧对中国环境变化的干扰。中国年产煤多达 14 亿 t, 除 2 亿 t 煤供出口外, 其余约 12 亿 t 煤均在国内燃烧以满足经济发展的要求。每年 12 亿 t 煤燃烧固然对保证国民经济的大力发展十分重要, 但它的直接负面效应是使我国继欧、美之后, 成为世界第三大酸雨沉降区[8]。酸雨的直接危害已引起公众的高度重视, 而其潜在危害却很少引起公众的关注与重视。这里根据全国环境地球化学监控网络获得的资料, 对由于煤燃烧将引发的潜在环境危害作初步分析与讨论。

3.1　中国酸雨与中国土壤酸度间的延缓效应

据国家环保局环境科学研究院王文新等对我国酸雨的监测研究[8], 我国酸雨的覆盖面积已达数百万 km^2。图 2 中示出的是 1982～1992 年 10 年间中国酸雨的分布图和中国上层泛滥平原沉积物中的 pH 值等值线。从图中可以看到我国酸雨区主要位于长江以南的广大地区 (pH = 5.6 的等值线圈定区), 且在 10 年间酸雨的面积明显向外扩展。5.6 以下的 pH 等值线北起山东半岛, 绕西太平洋沿岸直至我国的云南, 覆盖面积达数百万 km^2。而泛滥平原沉积物中 pH 值在 5.0 以下的面积只有 1992 年中

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

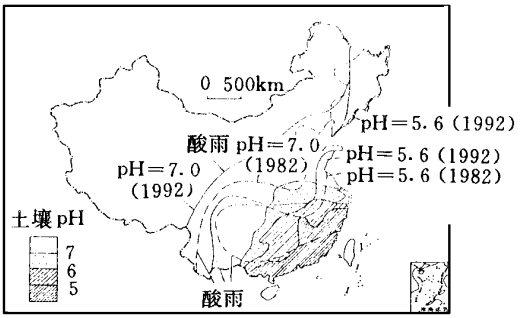


图 2 中国酸雨及土壤 pH 分布图

(酸雨分布曲线据王文新等[8]; 土壤 pH 本研究测定)

Fig 2 Distribution of acid rain between 1992 and 1982, compared with pH in surface floodplain sediment in 1994

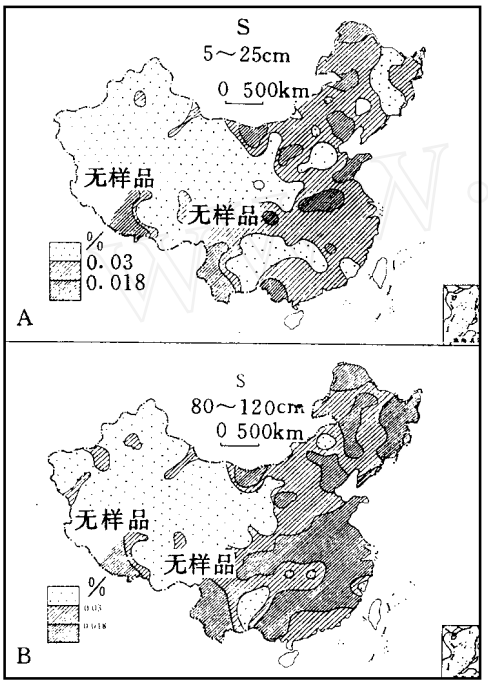


图 3 中国泛滥平原沉积物中的 S

Fig 3 Comparison of S in surface floodplain sediment (A, 5～25 cm) and in deep floodplain sediment (B, 80～120 cm)

A. 上层泛滥平原沉积物, 采样深度 5～25 cm; B. 下层泛滥平原沉积物, 采样深度 80～120 cm

国酸雨(pH 值为 5.6 以下)面积的三分之一左右。这说明土壤中由于碱性阳离子的中和作用, 导致土壤 pH 值的变化速率与酸雨的 pH 值不同步, 即土壤的 pH 值与酸雨的 pH 值之间有一延缓(滞后)效应。这种滞后效应对于推迟环境危害的发生具有积极的作用, 对公众环境意识的觉醒却具有消极作用。

酸性物质持续沉降使酸雨分布区内的上层泛滥平原沉积物中 S 含量显著增加, 而在我国西北的青海、新疆、甘肃等省、自治区内, 由于干旱气候条件, 导致 S 在地表大量聚集, 但上、下两层泛滥平原沉积物中的 S 含量基本保持不变(图 3)。

3.2 土壤的脆弱性

土壤中碱性阳离子如 Ca^{2+}、Na^{+}、Mg^{2+} 作为一种重要的缓冲剂, 对中和土壤中的酸性物质以减缓土壤 pH 值下降的速率, 起着极其重要的调节作用。因此土壤中碱性阳离子含量的多少和升降速率的变化, 是衡量土壤脆弱性的重要标志。如果土壤中碱性阳离子含量低, 下降速率快, 则土壤对酸性物质越脆弱, 反之亦然。

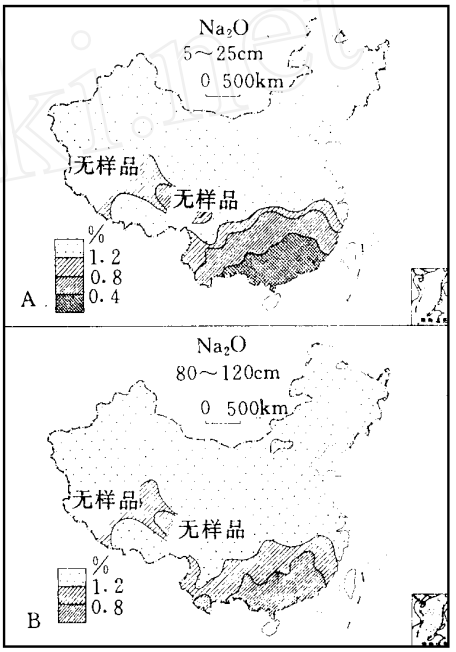


图 4 中国泛滥平原沉积物中的 Na_2O

Fig 4 Comparison of Na_2O in surface floodplain sediment (A) and in deep floodplain sediment (B)

A. 上层泛滥平原沉积物, 采样深度 5～25 cm; B. 下层泛滥平原沉积物, 采样深度 80～120 cm

从全国 Na_2O 地球化学图中可以看出(图 4), 中国泛滥平原沉积物中 Na_2O 的含量与分布有两个显著的特点: (1) 中国泛滥平原沉积物中 Na_2O 的低含量区主要分布在中国东部, 以华南地区最低, 而这一地区恰是中国沉降水含酸最严重和土壤 pH 值最小的地区; (2) 上层泛滥平原沉积物中 0.8% 的 Na_2O 等量线分布范围与下层泛滥平原沉积物中 1.2% 的

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

等量线分布范围基本重合, 0.4% 的 Na_2O 等量线分布区与下层泛滥平原沉积物中 0.8% 的等量线分布区相当。即在上、下两层泛滥平原沉积物中 Na_2O 含量降低的速率之间存在一个延缓效应。这是因为上层泛滥平原沉积物与酸雨或沉降的酸性物质首先接触并发生中和作用, 比下层泛滥平原沉积物消耗更多的 Na^+ 的缘故, 导致上层泛滥平原沉积物中 Na_2O 的下降速率比下层泛滥平原沉积物快的现象。从图 5 中可以看到, 华南褶皱系内上层泛滥平原沉积物中 MgO 的低含量分布范围显著大于下层泛滥平原沉积物的 MgO 低含量带, 这说明尽管在上、下两层泛滥平原沉积物中 MgO 的分布模式还未发生重大变化, 但以可以觉察到在华南褶皱系内将要出现 MgO 延缓效应分布区。

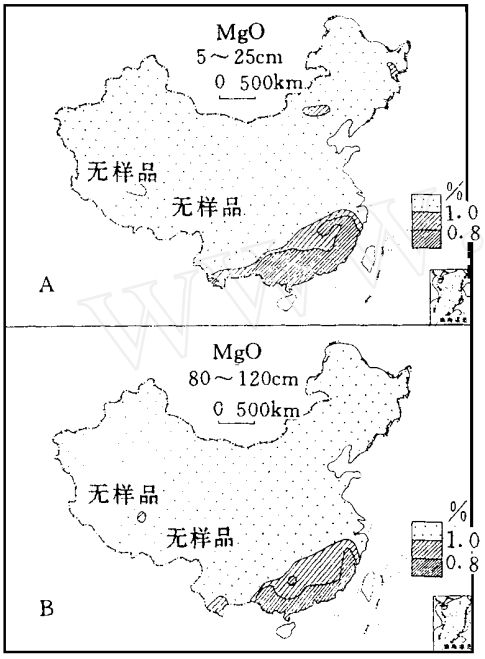


图 5　中国泛滥平原沉积物中的 MgO

Fig. 5　Comparison of MgO in surface floodplain sediment (A) and in deep floodplain sediment (B)

A. 上层泛滥平原沉积物, 采样深度 5～25 cm; B. 下层泛滥平原沉积物, 采样深度 80～120 cm

全国 CaO 的地球化学空间分布特征表明(图 6), 在我国酸雨覆盖区, 上、下两层泛滥平原沉积物的 CaO、MgO 含量均比全国其它地方低, 与 Na_2O 的分布规律有所不同的是, 在华东、华南的上、下两层泛滥平原沉积物中并未出现 CaO 的延缓效应区, 其主要原因可能是土壤中 CaO 的含量比 Na_2O 高, 有大量的 Ca^{2+} 与酸雨中和, 换句话说, 上层泛滥平原沉积物中与酸性沉积物发生中和作用所使用的 Ca^{2+} 的消耗量还不足以影响 CaO 的分布模式, 因而使上、下两层泛滥平原沉积物中 CaO 的分布模式基本未发生变化。

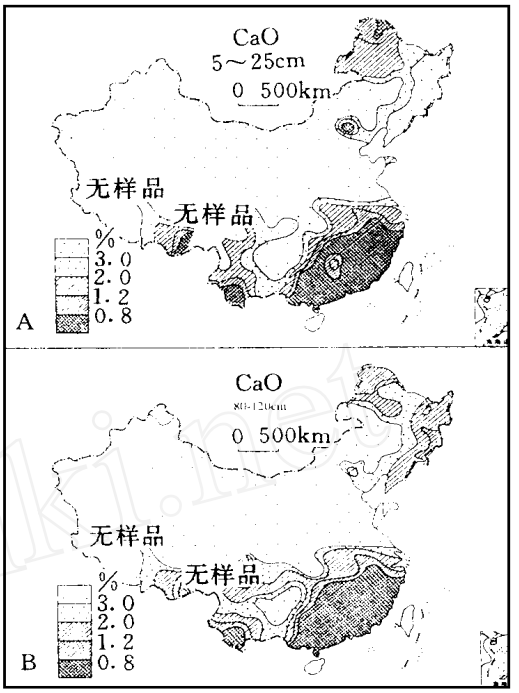


图 6　中国泛滥平原沉积物中的 CaO

Fig. 6　Comparison of CaO in surface floodplain sediment (A) and in deep floodplain sediment (B)

A. 上层泛滥平原沉积物, 采样深度 5～25 cm; B. 下层泛滥平原沉积物, 采样深度 80～120 cm

根据上述三种碱性阳离子在全国的地球化学空间分布特征, 我们可以初步得出结论, 在我国酸雨分布区内, 尤其是在华南地区, 由于可供用来中和酸性物质的碱性阳离子含量已很低, 而我国由于经济发展的需要, 据预测在 2050 年前煤燃烧量还会持续上升, 因此酸雨的覆盖面积不但不缩小, 反而还将扩大, 沉降水的酸度还会增大, 这样最终将耗尽环太平洋带土壤中可用于中和酸性物质的碱性阳离子, 导致土壤进一步脆弱, 最终可能引发严重的环境危害事件。而华南地区由于 CaO、MgO、Na_2O 含量低, 土壤 pH 值低, 发生这种灾害的时间可能将比全国其它任何地区都快。

3.3　潜在的化学定时炸弹

煤燃烧的直接危害是导致酸雨的形成, 酸雨年复一年地沉降必将耗尽酸雨覆盖区中土壤的碱性阳离子, 导致土壤 pH 值越来越低, 使土壤的 pH 值发

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

生重大改变,最终将导致土壤中某些金属元素的大量释放,从而形成规模巨大的环境危害或化学定时炸弹。这种情况的典型例子已在中欧出现。80 年代初期中欧森林出现大面积突然死亡,其主要原因是由于欧洲 200 年的工业化进程,使土壤中累积了大量的酸性物质,最终导致森林土壤的pH 值降至 4.2 以下,使土壤中大量的Al活化并释放,从而产生森林突然中毒死亡的化学定时炸弹。据研究,类似中欧森林突然大面积死亡的化学定时炸弹现象已在中国开始出现。我国重庆是酸雨沉降比较严重的地区,它附近万县的 65 000 hm^2 的松林,已有 26% 的松树枯死,55% 的松树已遭受显著危害;南山地区 4 700 hm^2 的马尾松中的 46% 已枯死,余下的一半也已显现出衰退的现象。问题的严重性还不局限于此,由于环太平洋带的酸雨分布区,恰好是我国泛滥平原沉积物中Al的高含量分布区(图 7),如果森林

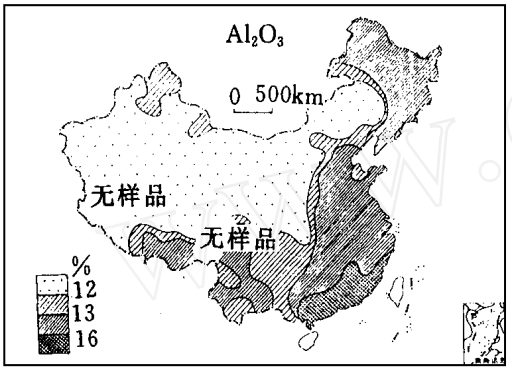


图 7 中国泛滥平原沉积物中的 Al_2O_3(采样深度: 5~25 cm)

Fig. 7 Geochemical map of Al_2O_3 in surface floodplain sediment with a depth of 5~25 cm

土壤中pH 值为 4.2 以下确为引爆Al化学定时炸弹的临界点,则沿太平洋带生长的红松、白皮松、台湾松、云南松、广东松、思茅松、乔松及我国特有的银松、水杉、金钱松、金铁锁、青檀等树种将面临死亡或消失的危险。Dong Deming 的实验研究已证实当土壤pH 在 4.2 以下时,土壤中可溶性Al突然增加[9],而我国华东、华南局部地区的土壤pH 值已与这一临界值极为接近,可能出现Al的化学定时炸弹,造成大面积森林突然死亡的危害。

在我国的酸雨沉降区,尤其是在华南、华东地区,尽管接受酸性沉降物质的历史较欧洲短,但由于土壤中能中和酸性物质的碱性阳离子含量却比欧洲土壤低,局部地区的土壤pH 值已接近欧洲森林土壤的水平。从这种角度来看,我国华南、华东地区的土壤已极为脆弱。我国华东、华南地区独有的地质地球化学特征又决定了我国的环境危害将比欧洲更为严重。

在我国酸雨覆盖区即环太平洋带,尤其是在酸雨严重的华南、华东地区,蕴藏着丰富的矿产资源。从本项目的其他元素的地球化学图中可以看到,华东、华南地区是 Th、Cu、Cd、Ti、Au、B、Tl、W、Zn、Sb、Ag、I、U、As、Se、Mo、Bi、Rb、Ga、La、Ce、Y、Pb、Al、Ge、Zr、Be、Nb、Sn 等 29 种元素的地球化学高背景分布区。目前我们还不确切知道从土壤中释放各个金属元素的pH 值临界点(值),也不完全知道每个元素对生态系统的危害性有多大。但随着土壤的pH 值不断降低,最终将导致这些金属中的某些元素的释放已完全具备条件,因此有可能在大面积范围内出现各种化学定时炸弹。由于各种元素从土壤中释放的pH 值临界点不完全相同及不同元素空间分布上的差异,有可能在不同的时间阶段及不同的地区,出现不同元素的化学定时炸弹。

上述分析与讨论只是根据全国环境地球化学监控网络第一次采样结果所得出,因此所获得的结论也仅是初步的结论,还需要若干年后全国环境地球化学监控网络的第二、三、…多次采样和累积更多的实际资料才能真正加以识别和证实。

本项研究是在谢学锦院士指导下获得的一项集体研究成果,地矿部物化探研究所的鄢明才教授、卢荫麻教授、任天祥教授、向运川高工等在项目的不同阶段以不同方式曾为本项目完成部分工作,在此向谢学锦院士及物化探所的同事们表示衷心的谢意。

参 考 文 献

1 Stigliani W M, Doelman P, Salomons W, et al. SEATM. 1 Chemical time bombs- predicting the unpredictable. Environment, 1991, **33**: 4~30

2 Stigliani W M. Chemical time bombs: definition, concepts and examples. Laxenburg, Austria, 1991. 1~23

3 谢学锦. 勘查地球化学的现状与未来展望. 地质论评, 1996, **42**(4): 346~355

4 Xie Xuejin, Cheng Hangxin. The suitability of flood plain sediment as a global sampling medium: evidence from China. J Geochem Explor, 1997, **58**: 51~62

5 Cheng Hangxin, Shen Xiachu, Yan Guangsheng, et al. Wide- spaced floodplain sediment sampling covering the whole of China: Pilot survey for International Geo-

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

chemical Mapping. In: Xie Xuejin, ed. Proc 30th Int'l Geol Congr, Geochemistry. International Science Publisher, The Netherlands, 1997. 89～109

6 成杭新, 谢学锦. 泛滥平原沉积物的超低密度采样代表性研究(一). 长春地质学院学报, 1997, **27**(3): 289～295

7 成杭新, 谢学锦. 泛滥平原沉积物的超低密度采样代表性研究(二). 统计学检验及地质意义. 有色金属矿产与勘查, 1997, **6**(4): 238～242

8 王文新, 张婉化, 石泉, 等. 影响我国降水酸性因素的研究. 中国环境科学, 1993, **13**(6): 401～407

9 Dong Deming, Michael H R, Thornton I. Effect of soil pH on Al availability in soils and its uptake by the soybean plant (Glycine max). J Geochem Explor, 1995, **55**: 223～230

CHEMICAL TIME BOMB: A NEW PROBLEM FACED BY CHINA'S TERRENE ENVIRONMENT

Cheng Hangxin, Yan Guangsheng, Shen Xiachu, Gu Tiexin, Lai Zhimin

(*Institute of Geophysical and Geochemical Exploration, Langfang* 065000)

Abstract An area of vulnerable soil with low content of Na_2O, MgO, CaO and high content of Al_2O_3 is identified in southeastern China. A chemical time bomb of Al, similar to the one in central Europe, occurs in southeastern China, which may lead to abrupt dying back of forest within the area. It could also possibly cause serious damages to the elements of Th, Cu, Cd, Ti, Au, B, Tl, W, Zn, Sb, Ag, I, U, As, Se, Mo, Bi, Rb, Ga, La, Ce, Y, Pb, Ge, Zr, Be, Nb, Sn in the future, due to the apid drop of the soil pH value resulted from continuous quite acidic precipitation for a long time in the area.

Key words alumium, chemical time bomb, soil vulnerability, China

(上接第 63 页)

SACKUNG AND THE HUANGTUPO LANDSLIDE

Deng Qinglu, Wang Xueping

(*China University of Geosciences, Wuhan* 430074)

Abstract Many large scale landslides are preceded by deep-seated gravitational creep deformation. Three types of that sort of deformation have been proposed, sackung, lateral spread of ridges, lateral spread of thrust fronts. In this paper, sackung was specifically discussed on its character and mechanism.

Huangtupo landslide is a large scale landslide on the right bank of the Three Gorges of the Yangtze River, on which the new Badong town has been built because of the construction of the Gezhou Dam in Yichang. The character and mechanism of the Huangtupo landslide is not clear so far. It was researched with the thought of sackung. Results show the Huangtupo landslided involved catastrophic sliding, and considerable deformation of creep (sackung) preceded the sliding.

Key words sackung, landslide, Huangtupo

© 1994-2011 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net