

# 太仓郊区河流沉积物重金属污染现状及评价

吴新民, 范迪富, 华 明, 金 洋, 冯金顺

(江苏省地质调查研究院,江苏 南京 210018)

**摘要:**选择太仓市郊区河流沉积物为研究对象,开展了重金属污染现状及评价研究。研究表明,相对于地壳或页岩平均值,沉积物中大部分重金属呈现不同程度的富集;地质累积指数和富集因子分析表明,位于城镇附近的采样点受到污染,且主要污染因子为 Cr、Cu、Cd、Pb、Zn 等。结果显示,沉积物 Zn 含量高达 1 770mg/kg,是农用污泥 Zn 使用容许最高值 500mg/kg 的 3 倍多,沉积物由于 Zn、Cr、Cu 等的严重污染不能用作施用污泥;利用重金属与 Fe 之间的相关特征结果显示,城镇工业、生活污水的排放是沉积物重金属污染的主要因素。

**关键词:**沉积物;重金属;来源;江苏太仓

**中图分类号:**X508      **文献标识码:**A      **文章编号:**1674-3636(2009)01-0043-05

## 0 引 言

太仓市是长三角地区经济最为迅速、城镇化程度最高的地区之一,近年来随着产业扩散和城市效应,太仓郊区城镇经济也获得快速发展。笔者选择流经太仓市主要城镇的吴塘河沉积物作为研究对象,吴塘河与太仓市相连,且纵跨太仓市主要农田区,是农田灌溉水源地,其水体环境质量直接或间接影响农田生态系统的安全生产,所以选择该河沉积物作为研究对象具有典型性和实际意义。

## 1 材料与方法

### 1.1 样品采集

2005 年 10 月,沿吴塘流经不同城镇地区共采集了 15 个河流沉积物,其中 S07 样点位于太仓市排水口与吴塘河交汇处;S05 和 S09 样点分别在双凤镇、新湖镇附近,其他 12 个样点均设置在郊区农田灌溉取水处。所有样点均使用手持 GPS 导航定位,定位精度为 20m。采集河流表层底泥用自制取泥筒,取表层 0cm~10cm 软泥除去杂物后装入布袋带回。

### 1.2 样品预处理及分析

将采集好的淤泥自然风干,去除植物根系及砾石等杂质,缩分取出 50g,研磨,过 200 目筛,于塑料瓶中保存备用。Cr、Cu、Fe、Mn、Ni、Pb、Zn 的测定采用 X 荧光光谱法;Co 的测定采用等离子质谱法;Cd 的测定,用 HCl-HNO<sub>3</sub>-HF-HClO<sub>4</sub> 消化,石墨炉原子吸收法分析。在分析测定中采用国家标准样(GBW07401)进行全过程的分析质量控制。由表 1 可以看出,标准样的实测值与标准值非常接近,标准样品各元素相对误差控制在 12% 范围内。数据的统计与分析采用 Excel、SPSS 软件。

表 1 标准样的实测值与标准值值的比较

| 元素 | 实测值   | 标准值值  | 相对误差/% |
|----|-------|-------|--------|
| Cd | 4.8   | 4.3   | 11.63  |
| Co | 14.4  | 14.2  | 1.41   |
| Cr | 66.3  | 62    | 6.94   |
| Cu | 21.6  | 21    | 2.86   |
| Fe | 38.64 | 36.33 | 6.36   |
| Mn | 1 749 | 1 760 | 0.63   |
| Ni | 19.5  | 20.4  | 4.41   |
| Pb | 94.2  | 98    | 3.88   |
| Zn | 705   | 680   | 3.68   |

注:单位 Fe 为 g/kg,其他为 mg/kg

## 2 结果与讨论

### 2.1 沉积物重金属含量

河流沉积物重金属的含量参数统计见表 2。由表 2 可见,Co、Fe、Mn 等元素含量范围变化较小,与它们在地壳、页岩的平均含量比较接近;Cd 含量最大值与最小值相差 4 倍多,其平均含量是地壳平均值的近 2 倍;Cr、Cu、Ni、Pb、Zn 等元素含量范围变化较大,最大值与最小值相差几倍至几十倍,它们的平

均含量明显高于地壳和页岩的平均值。这些元素含量的变异系数较大(>0.4),反映空间分布上的较大变异性,往往与局部点源污染有关。

从各采样点重金属含量来看,S07 采样点具有本次沉积物调查最高 Cd、Cr、Co、Cu、Ni、Zn 含量和次高 Pb 含量,这与太仓市工业、生活污水的排放有关;S05 和 S09 采样点具有较高的 Cr、Cu、Cd、Ni、Pb、Zn 的含量,其他采样点重金属含量相差不甚明显,但 S06、S14 样点分别具有最高的 Mn、Pb 含量。

表 2 太仓河流沉积物重金属含量统计表

| 元素 | 含量范围        | 平均值   | 中值    | 标准偏差 | 变异系数 | I-geo | 地壳  | 页岩  |
|----|-------------|-------|-------|------|------|-------|-----|-----|
| Cd | 0.14~0.59   | 0.38  | 0.34  | 0.16 | 0.40 | 0.36  | 0.2 |     |
| Co | 11.4~20.5   | 14.4  | 13.9  | 2.37 | 0.16 | -0.44 | 13  |     |
| Cr | 74.3~1 242  | 238   | 117   | 292  | 1.23 | 0.82  | 71  | 90  |
| Cu | 49.8~671    | 206   | 149   | 154  | 0.75 | 1.61  | 32  | 45  |
| Fe | 27.65~49.35 | 36.33 | 36.68 | 5.69 | 0.16 |       |     |     |
| Mn | 312~685     | 531   | 524   | 90.6 | 0.17 | -1.02 | 720 | 850 |
| Ni | 33.8~223    | 73.8  | 63.2  | 44.8 | 0.61 | -0.47 |     | 68  |
| Pb | 23.1~84.5   | 42.9  | 40.2  | 17.9 | 0.41 | 0.52  | 16  | 20  |
| Zn | 123~1 770   | 456   | 364   | 405  | 0.88 | 1.68  | 127 | 95  |

注:单位 Fe 为 g/kg,其他为 mg/kg

### 2.2 沉积物重金属污染评价

目前,国内外对河流沉积物中重金属污染评价的标准和方法较多,笔者主要采用了地质累积指数法和富集因子法对太仓郊区河流沉积物重金属的污染现状进行评价。

2.2.1 地质累积指数法 地质累积指数计算公式为:

$$I\text{-geo} = \log_2 [C_n / 1.5 \times B_n] \tag{1}$$

式(1)中,C<sub>n</sub>为沉积物中重金属元素 n 的实测值,B<sub>n</sub>为沉积物背景参考值。本研究中 Cd、Co、Cr、Cu、Mn、Ni、Pb、Zn 分别取 0.2,13,90,45,720,68,20,95,单位均为 mg/kg。污染指数分级分别为:I-geo≤0,无污染;0<I-geo≤1,轻度污染;1<I-geo≤2,偏中度污染;2<I-geo≤3,中度污染;3<I-geo≤4,偏重污染;4<I-geo≤5,重污染;5<I-geo≤10,严重污染。

由式(1)可得,太仓郊区河流沉积物重金属的

地质累积指数为<0~3.63,为无污染至偏重污染,绝大多数都小于零。从各采样点来看,S07 采样点的污染重金属数量多,且污染程度最为严重;S05 采样点的 Cr、Cu 达到偏中度污染,Zn 达到了中度污染;S09 采样点的 Cr 偏中度污染,Cu、Zn 中度污染;其余采样点重金属的污染程度较低。为了解沉积物重金属总体污染程度,根据重金属平均值计算获得的地质累积指数见表 3,Cr、Cu、Pb、Zn 等重金属的污染比较严重,这与国内其他地区河流沉积物重金属污染因子相似。

2.2.2 富集因子法 笔者采用 Adami 等(2000)提出的富集因子法,单元素的富集因子(r)和某个采样点的总富集因子(R)计算式分别如下:

$$r = (C_i - C_b) / C_b \tag{2}$$

$$R = (\sum r) / n \tag{3}$$

式(2)中,C<sub>i</sub>为样品重金属含量的实测值;C<sub>b</sub>为重

金属元素的背景参考值。

15 个样品各重金属的富集因子  $r$  见表 3。由表 3 可见,Co、Mn、Ni(S07 样点除外)等富集因子都小于 1,而 Cr、Cu、Cd、Pb、Zn 等富集因子普遍大于 1,平均值由高至低依次:Zn > Cu > Cr > Pb > Cd,其中 S07 采样点的 Cu、Zn 的  $r$  值更是分别高达 13.91, 17.63,表明这些元素相对于地壳或页岩的平均含量,呈现出显著的富集趋势。

表 3 太仓 11 个河流沉积物的重金属富集因子

| 样品  | Cr           | Cu           | Cd          | Co    | Ni          | Mn    | Pb          | Zn           |
|-----|--------------|--------------|-------------|-------|-------------|-------|-------------|--------------|
| S01 | 0.23         | <b>2.31</b>  | <b>1.80</b> | 0.07  | -0.08       | -0.17 | <b>1.90</b> | <b>3.24</b>  |
| S02 | 0.30         | <b>3.67</b>  | <b>1.65</b> | 0     | 0.11        | -0.31 | <b>1.49</b> | <b>3.20</b>  |
| S03 | -0.17        | <b>1.08</b>  | 0.10        | -0.12 | -0.50       | -0.22 | 0.17        | 0.58         |
| S04 | 0.18         | <b>1.78</b>  | <b>1.85</b> | 0.10  | -0.17       | -0.22 | <b>1.31</b> | <b>2.79</b>  |
| S05 | <b>3.04</b>  | <b>4.76</b>  | <b>1.50</b> | 0.36  | 0.41        | -0.29 | <b>1.68</b> | <b>7.85</b>  |
| S06 | <b>1.21</b>  | <b>1.42</b>  | 0.70        | 0.22  | -0.14       | -0.05 | 0.87        | <b>2.81</b>  |
| S07 | <b>12.80</b> | <b>13.91</b> | <b>1.95</b> | 0.58  | <b>2.28</b> | -0.57 | <b>2.49</b> | <b>17.63</b> |
| S08 | <b>1.39</b>  | <b>1.31</b>  | 0.15        | -0.02 | -0.07       | -0.14 | 0.27        | <b>2.99</b>  |
| S09 | <b>2.74</b>  | <b>6.49</b>  | <b>1.45</b> | 0.15  | 0.26        | -0.21 | <b>1.05</b> | <b>5.24</b>  |
| S10 | 0.70         | <b>5.16</b>  | 0.30        | 0.07  | -0.06       | -0.37 | <b>1.01</b> | <b>1.45</b>  |
| S11 | -0.05        | 0.11         | -0.30       | -0.05 | -0.47       | -0.11 | 0.16        | 0.29         |
| S12 | <b>1.86</b>  | <b>4.02</b>  | <b>1.55</b> | 0.21  | 0.26        | -0.35 | <b>3.23</b> | <b>3.08</b>  |
| S13 | 0.23         | <b>1.98</b>  | 0.50        | -0.02 | -0.07       | -0.27 | 0.63        | <b>2.83</b>  |
| S14 | -0.09        | 0.76         | 0.10        | -0.06 | -0.32       | -0.34 | 0.27        | 0.88         |
| S15 | 0.27         | <b>5.04</b>  | 0.50        | 0.09  | -0.16       | -0.32 | 0.72        | <b>2.19</b>  |

注:黑体部分表示  $r > 1$

一般认为, $r > 1$  的重金属元素可能具有污染来源,因此被用来计算总富集因子  $R$ ,为此,本研究中选择 Cr、Cu、Cd、Pb、Zn 来计算总富集因子( $n = 5$ ),通过式(3)获得各采样点  $R$  值作图(图 1)。由图 1 可以看出,不同采样点具有不同的  $R$  值,也反映了不同采样点的污染程度,S07 采样点为严重污染( $R \geq 3.0$ ),这与太仓市工业、生活污染排放有关;S02, S05, S09 和 S12 采样点达到了中度污染( $2.0 \leq R < 3$ );其他 10 个采样点为低污染。由此可以看出,城市排污口和城镇附近的采样点受到中度—严重污染,而农田灌溉取水处的样品基本没有受到污染。

2.2.3 沉积物重金属污染度特征 为进一步了解河流沉积物重金属的污染程度,笔者分别选择土壤二级质量标准及农用污泥重金属最高容许含量( $pH < 6.5$ )与河流沉积物(以 Cr、Cu、Ni、Pb 和 Zn 为例)的浓度实测值进行比较,小于土壤二级质量标准的

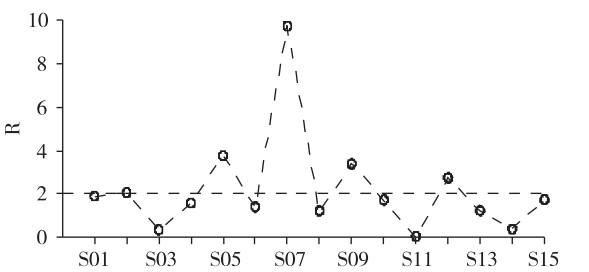


图 1 采样点沉积物重金属总富集因子

沉积物表示基本未受到污染,土壤二级质量标准和农用污泥重金属最高容许含量表示受到偏重污染,而高于污泥重金属最高容许含量则表示受到严重污染。

比较结果表明,Zn 污染程度区域差异性较大,20% 处于未污染,60% 处于偏重污染,而 20% 处于严重污染。相对而言,S07 样品污染最为严重,其含

量是最高容许含量的 3 倍多。Zn 虽为弱毒性且为人体必需的微量元素,但河流沉积物的高 Zn 含量必然影响水体生物食物链安全和农田生产安全。作为人体必需的微量元素 Cu,结果表明,2/3 的采样点偏重污染,1/3 的采样点严重污染,在所分析的重金属元素中,Cu 的污染程度最为严重。93.3% 的采样点 Cr 为偏重污染,6.7% 的采样点 Cr 为严重污染。6.7% 的采样点 Ni 处于未污染,86.6% 的采样 Ni 处于偏重污染,而 6.7% 的采样点 Ni 处于严重污染。相对来说,所采样点 Pb 均未污染。

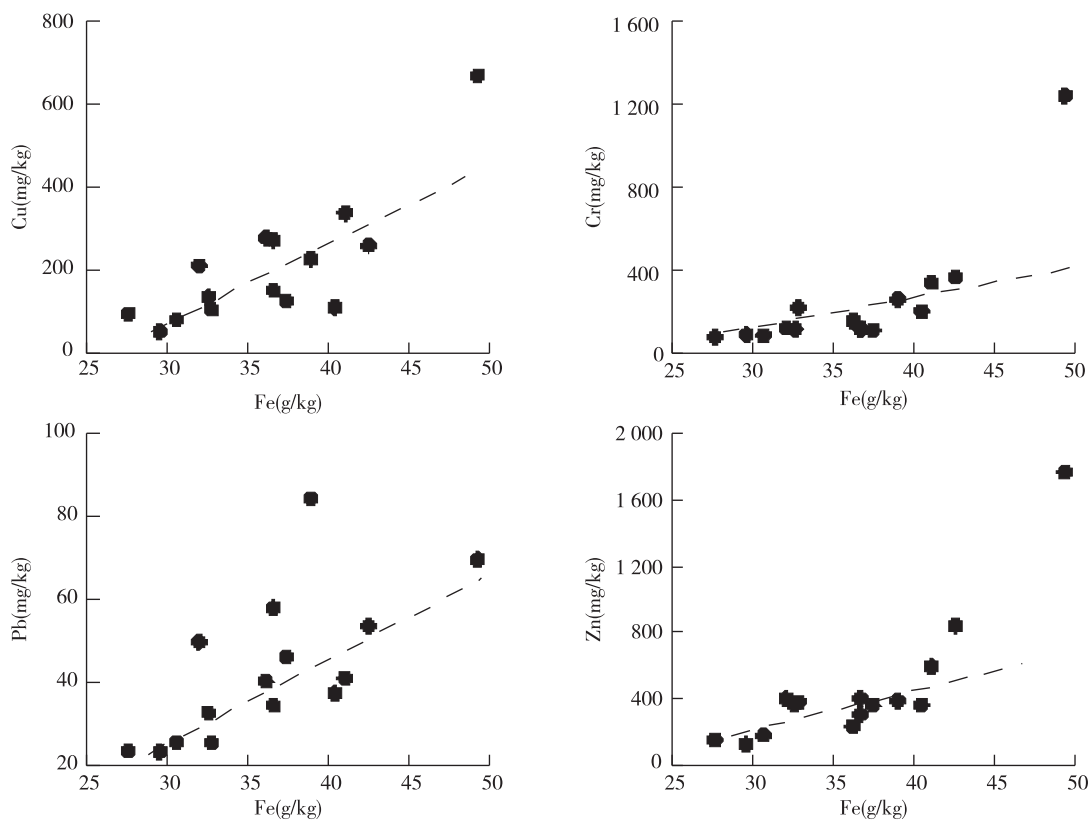


图 2 沉积物中 Fe 与 Cu、Cr、Pb、Zn 的相关关系图

### 3 结 语

太仓郊区河流部分沉积物已受到不同程度的重金属(Co、Mn 除外)污染,它们主要分布在太仓城市工业、生活污水排放口以及城镇附近。

通过地质累积指数法、富集因子法评价,认为河流沉积物主要污染因子为 Cr、Cu、Pb、Zn 等。部分 Cr、Cu、Ni、Zn 严重污染,污泥基本不能用作农田

### 2.3 沉积物重金属来源分析

沉积物中 Fe 与重金属的相关性通常用来区分重金属的自然来源或工业污染来源,Fe 与重金属之间较好的相关性表明重金属的自然来源(图 2),在较低 Zn 含量时,沉积物中 Zn 与 Fe 呈现良好的线性相关,而在较高 Zn 含量( $>500\text{mg/kg}$ )时,沉积物中 Zn 与 Fe 之间则不存在相关性,而且这些高 Zn 含量点主要位于城镇附近,表明沉积物受到了人为污染,主要受周围城镇工业、生活污染排放影响。相似的现象也能反映在 Fe 与 Cr、Cu、Pb 等重金属之间。

施用。

沉积物重金属与 Fe 之间的相关性也进一步证实了城镇附近的采样点已受到了人为污染。

### 参考文献:

- [1] LI X D, WAI O W H, LI Y S, et al. Heavy metal distribution in sediment profiles of the Pearl River estuary, South China[J]. Applied Geochemistry, 2000, 15: 567 - 581.

- [2] 文湘华. 水体沉积物重金属质量基准研究[J]. 环境科学, 1993, 12(5): 334 – 341.
- [3] 余中盛. 松花湖及入湖河流沉积物的重金属分布与污染研究[J]. 中国环境科学, 1984, 4(3): 76 – 79.
- [4] MARTIN J M, MAYBECK M. Elemental mass balance of material carried by major world rivers[J]. Marine Chemistry, 1979, 7: 173 – 206.
- [5] TUREKIAN K K, WEDEPOHL K H. Distribution of elements in some major units of the earth's crust[J]. Geological Society of American Bulletin, 1961, 72: 175 – 192.
- [6] HAKANSON L. An ecological risk index for aquatic pollution control: a sedimentological approach [J]. Water Research, 1980, 14(8): 975 – 1 001.
- [7] 霍文毅, 黄凤茹, 陈静生, 等. 河流颗粒物重金属污染评价方法比较研究[J]. 地理科学, 1997, 17(1): 81 – 86.
- [8] MÜLLER G. Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River[J]. Geojournal, 1969, 2: 108 – 118.
- [9] ADAMO P, ARIENZO M, IMPERATO M, et al. Distribution and partition of heavy metals in surface and sub-surface sediments of Naples city port[J]. Chemosphere, 2005, 61: 800 – 809.
- [10] 刘伟, 陈振楼, 许世远, 等. 上海市小城镇河流沉积物重金属污染特征研究[J]. 环境科学, 2006, 27(3): 538 – 543.
- [11] 王荔娟, 于瑞莲, 胡恭任, 等. 晋江感潮河段表层沉积物重金属污染特征[J]. 华侨大学学报: 自然科学版, 2008, 29(1): 148 – 151.
- [12] 曾凡萍, 肖化云, 周文斌. 乐安江河水和沉积物中 Cu、Pb、Zn 的时空变化特征及来源分析[J]. 环境科学研究, 2007, 20(6): 14 – 20.
- [13] 国家环境保护局. 土壤环境质量标准[M]. 北京: 中国标准出版社, 1995.
- [14] 国家城乡建设环境保护部. 农用污泥中的污染控制标准[M]. 北京: 中国标准出版社, 1984.
- [15] PRESLEY B J, TAYLOR R J, BOOTHE P N. Trace metal concentrations in sediments of Eastern Mississippi Bight[J]. Marine Environmental Research, 1992, 33: 267 – 282.
- [16] TKALIN A V, PRESLEY B J, BOOTHE P N. Spatial and temporal variations of trace metals in bottom sediments of Peter the great Bay, the sea of Japan[J]. Environmental Pollution, 1996, 92: 73 – 78.

## Pollution situation and assessment of heavy metals in fluvial sediments in suburb of Taicang

WU Xin-min, FAN Di-fu, HUA Ming, JIN Yang, FENG Jin-shun

(Geological Survey of Jiangsu Province, Nanjing 210018, China)

**Abstract:** The fluvial sediments in the suburb of Taicang, Jiangsu Province were studied in the text; the authors studied the pollution degree and conducted assessment research on heavy metals. The results showed, related to the average value embodied in the earth crust or shale, the heavy metals enriched in the sediments showed an enrichment to some extent; The geological accumulating index and enrichment factors demonstrated that the samples close to towns were contaminated mainly by Cr、Cu、Cd、Pb、Zn related to anthropogenic activities. The Zn concentration in fluvial sediments was amount to 1 770mg/kg, which was over three times as high as the criterion (500mg/kg) of farming sludge. As the sediments were seriously contaminated by Zn、Cr、Cu, so they couldn't be used as sludge in farm land; The related properties between Fe and heavy metals showed that the industrial wastes and living sewage were the main sources of heavy metals in fluvial sediments.

**Keywords:** Sediments; Heavy metals; Sources; Taicang, Jiangsu