

# 辽河水系表层沉积物中重金属分布及污染特征研究

张婧<sup>1</sup>, 王淑秋<sup>1</sup>, 谢琰<sup>2</sup>, 王幸福<sup>1</sup>, 盛向军<sup>2</sup>, 陈吉平<sup>1\*</sup>

(1. 中国科学院大连化学物理研究所, 大连 116023; 2. 辽宁省出入境检验检疫局, 大连 116001)

**摘要** 采用原子吸收分光光度法和原子荧光光谱法测定了辽河水系表层沉积物中 7 种重金属(Ni, Cu, Cr, Pb, Cd, As, Hg)的含量, 用地累计指数法对污染程度进行了评价, 并通过主成分分析法确定了重金属污染源. 结果显示, 辽河水系表层沉积物各重金属含量明显高于 1998 年的辽河调查结果, 与中国其它水系相比, 重金属含量处于中等水平, 大辽河各重金属含量和污染程度高于辽河. 7 种重金属平均含量为: Ni 26.5 mg·kg<sup>-1</sup>, Cu 37.9 mg·kg<sup>-1</sup>, Cr 90.3 mg·kg<sup>-1</sup>, Pb 32.9 mg·kg<sup>-1</sup>, Cd 0.49 mg·kg<sup>-1</sup>, As 12.3 mg·kg<sup>-1</sup>, Hg 0.14 mg·kg<sup>-1</sup>. 根据各重金属地累计指数, 辽河水系未受 Ni 和 As 的污染, 受 Cu, Cr, Pb 轻度污染, 受 Cd 和 Hg 中度污染, 各重金属污染程度排序为: Cd > Hg > Cu > Cr > Pb > As > Ni. 通过主成分分析进一步对重金属污染来源的确定, 发现前 2 个主成分的贡献率分别为 58.74% 和 17.18%, 污染来源主要有 3 类, 即工业和生活污水、有机物降解、大气沉降和地球化学成分变化.

**关键词** 辽河; 沉积物; 重金属; 污染评价; 污染源

中图分类号: X131; X142 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2008)09-2413-06

## Distribution and Pollution Character of Heavy Metals in the Surface Sediments of Liao River

ZHANG Jing<sup>1</sup>, WANG Shu-qiu<sup>1</sup>, XIE Yan<sup>2</sup>, WANG Xing-fu<sup>1</sup>, SHENG Xiang-jun<sup>2</sup>, CHEN Ji-ping<sup>1</sup>

(1. Dalian Institute of Chemical Physics, Chinese Academy of Sciences, Dalian 116023, China; 2. Liaoning Entry-Exit Inspection and Quarantine Bureau, Dalian 116001, China)

**Abstract** The concentrations of 7 heavy metals(Ni, Cu, Cr, Pb, Cd, As, Hg) and organic matters in the surface sediments of Liao River were determined by atomic absorption spectrometry(AAS) and atomic fluorescence spectrometry(AFS), and sediments pollution assessment was carried out using geoaccumulation index. Moreover, the sources of heavy metal contamination were estimated with the principal component analysis(PCA). The results demonstrate that the heavy metal concentrations of Liao River are markedly higher than that of Liao River in 1998 and lay at medium level compared with other rivers in China. The average concentrations(mg/kg) obtained were: Ni 26.5 mg·kg<sup>-1</sup>, Cu 37.9 mg·kg<sup>-1</sup>, Cr 90.3 mg·kg<sup>-1</sup>, Pb 32.9 mg·kg<sup>-1</sup>, Cd 0.49 mg·kg<sup>-1</sup>, As 12.3 mg·kg<sup>-1</sup>, Hg 0.14 mg·kg<sup>-1</sup>. The results of geoaccumulation index reveal that sediments of Liao River are uncontaminated with Ni, As, lightly contaminated with Cu, Cr, Pb and moderately contaminated with Cd, Hg. The order of the analyzed heavy metals, arranged from the highest to lowest pollution degree, is as follows Cd > Hg > Cu > Cr > Pb > As > Ni. By estimating the sources of heavy metal contamination with the Principal component analysis(PCA), it was found that the first two components account for 58.74% and 17.18% of the total variance, respectively. The industrial and living wastewater, degradation of organic matter atmospheric precipitation and geochemical changes are the main sources of heavy metal contamination.

**Key words** Liao River; sediment; heavy metal; pollution estimation; source of contamination

辽河水系是我国七大水系之一, 由辽河、大辽河、浑河和太子河四大主要河流及其支流组成, 是我国的农牧业生产基地, 也是我国重要的工业生产基地之一. 但是, 随着工业数量的不断增加和人口的增长, 工业生产的废水和居民生活污水不断向辽河排放, 辽河的水污染状况越来越严重<sup>[1]</sup>, 治理水污染成为急需解决的问题之一.

重金属因其在环境中的不可破坏性及对生物的毒性, 使得重金属污染成为水环境污染评价的重要内容<sup>[2]</sup>. 纳入水体的重金属将会通过化学吸附、物理沉淀等作用进入沉积物中, 为此水环境重金属污染水平可通过沉积物中重金属浓度反映出来<sup>[3]</sup>. 虽然沉积物分析不能定量反映污染的绝对状况, 但在查

明污染的相对因素时能起着关键作用, 并由此可追踪并监测水环境污染源. 国内外关于水体沉积物重金属研究较多, 主要集中在重金属分布规律<sup>[2~11]</sup>、污染特征和污染程度评价<sup>[12, 13]</sup>及来源分析等方面<sup>[8~14]</sup>. 国内对辽东湾和渤海海域重金属污染的研究报道中涉及到了辽河口的重金属污染状况<sup>[15, 16]</sup>, 而对我国主要河口沉积物进行的重金属污染评价中发现辽河口的综合污染程度最高<sup>[17]</sup>. 但至今关于对辽河水系重金属污染程度的研究尚鲜见报道. 为此,

收稿日期: 2007-09-06; 修订日期: 2007-11-15

基金项目: 国家重点基础研究发展规划(973)项目(2003CB415001)

作者简介: 张婧(1983~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为环境污染物分析, E-mail: jingzhang810@dicp.ac.cn

\* 通讯联系人, E-mail: chenjp@dicp.ac.cn

本研究通过测定辽河和大辽河 24 个位点表层沉积物中重金属 (Ni、Cu、Cr、Pb、Cd、Fe、As、Hg) 总量及有机质含量, 评价了辽河水系沉积物中的重金属含量及污染程度, 并利用统计分析的方法进行了污染来源分析, 对辽河水系沉积物及其水体的重金属污染防治和决策管理具有重要意义。

## 1 材料与方法

### 1.1 样品采集

本项研究在辽河水系布设的表层沉积物有效采样点分布如图 1 所示, 分别在大辽河设置采样点 15 处, 编号为 1~15, 在辽河设置采样点 9 处, 编号为 16~24。选点主要考虑了河流交汇处、城市和可能的污染源下游, 每个采样点在周围 10 m × 10 m 范围内用抓斗式采泥器采集河流沉积物表层 0~5 cm 泥样

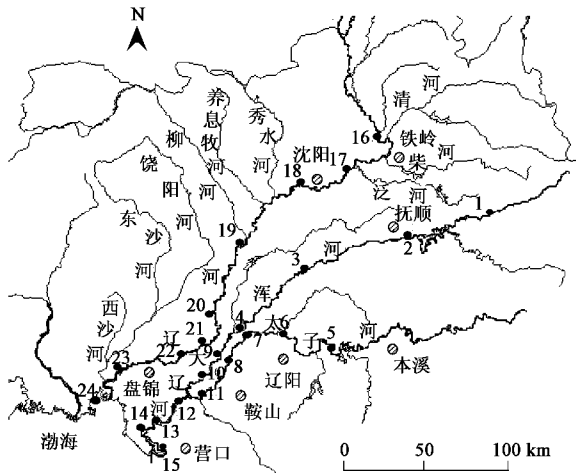


图 1 采样点分布

Fig. 1 Map of sampling sites

5 份, 混合均匀后立即封存于干净的聚乙烯袋中, 冷冻条件下运回实验室, 分析前于  $-20^{\circ}\text{C}$  冷冻保存。

### 1.2 样品预处理和分析

采集的样品常温风干后, 除去沙石、动植物碎片等明显异物, 混合均匀, 用玛瑙研钵研细过 100 目筛, 用四分法缩分得到样品, 装入聚乙烯塑料袋于干燥器中保存以供测定。样品消解方法参照国标四酸 ( $\text{HCl-HNO}_3\text{-HF-HClO}_4$ ) 消解法 (GB/T 17137-40 1997)。Cu、Ni、Cr、Fe 以火焰原子吸收分光光度法测定, Pb、Cd 以石墨炉原子吸收分光光度法测定, As、Hg 以原子荧光光谱法测定。沉积物中总有机质含量以灼烧法测定, 用烧失量 (loss of ignition, LOI) 表征<sup>[18]</sup>。测定结果用统计软件 SPSS10.0 进行主成分分析。

## 2 结果与讨论

### 2.1 辽河表层沉积物中重金属的含量与分布

表 1 和表 2 分别为大辽河和辽河各采样点表层沉积物中重金属元素的含量, 从中可看出, 大辽河表层沉积物中 Cd 平均含量为  $0.72 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 远远高于辽河沉积物中的 Cd 平均含量 ( $0.11 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ )。大辽河的其它重金属 Cu、Cr、Pb、As、Hg 的平均含量也高出辽河 1~2 倍, 而大辽河和辽河沉积物中的 Ni 平均含量相当, 差别不大。图 2 为大辽河和辽河表层沉积物中重金属含量沿程分布情况, 从中可看出, 7 种重金属的分布特征基本相似, 即高值区与低值区吻合, 高值区为浑河抚顺和沈阳段采样点 1、2、3 和大辽河营口段采样点 9、10、11、12、15, 低值区则为太子河辽阳段段采样点 5、6、7、8, 其中 Cd、Cu、Cr、Hg 的含量最高点均在采样点 3, 为沈阳市大滩子镇土

表 1 大辽河表层沉积物中重金属含量/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$

Table 1 Concentrations of heavy metals in surface sediments of DaLiao River/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$

| 采样点 | Ni   | Cu    | Cr    | Pb    | Cd   | Fe   | As   | Hg   |
|-----|------|-------|-------|-------|------|------|------|------|
| S1  | 34.9 | 45.4  | 129.7 | 32.6  | 0.29 | 8.90 | 11.9 | 0.17 |
| S2  | 54.3 | 47.1  | 171.1 | 20.1  | 0.32 | 10.9 | 8.9  | 0.18 |
| S3  | 37.4 | 162.3 | 247.3 | 40.9  | 4.81 | 8.76 | 27.8 | 0.46 |
| S4  | 24.8 | 50.3  | 150.5 | 26.3  | 0.65 | 9.61 | 11.3 | 0.21 |
| S5  | 30.6 | 23.3  | 76.7  | 25.9  | 0.16 | 5.61 | 32.1 | 0.23 |
| S6  | 29.8 | 28.8  | 82.3  | 27.9  | 0.18 | 15.2 | 32.4 | 0.13 |
| S7  | 27.7 | 30.0  | 91.4  | 29.9  | 0.19 | 10.4 | 5.3  | 0.18 |
| S8  | 23.9 | 29.1  | 98.1  | 29.2  | 0.17 | 9.08 | 11.8 | 0.09 |
| S9  | 33.2 | 65.6  | 91.1  | 37.3  | 0.63 | 4.65 | 10.4 | 0.21 |
| S10 | 29.1 | 107.4 | 144.9 | 50.4  | 1.01 | 7.36 | 13.4 | 0.21 |
| S11 | 34.8 | 42.2  | 100.5 | 100.5 | 0.58 | 14.6 | 4.8  | 0.08 |
| S12 | 15.4 | 62.8  | 117.3 | 88.5  | 0.71 | 13.6 | 5.1  | 0.08 |
| S13 | 19.5 | 18.2  | 48.0  | 44.5  | 0.31 | 3.59 | 4.1  | 0.08 |
| S14 | 24.9 | 20.8  | 56.6  | 47.1  | 0.30 | 4.15 | 16.7 | 0.11 |
| S15 | 12.7 | 30.1  | 87.4  | 32.6  | 0.54 | 6.35 | 23.2 | 0.12 |
| 均值  | 28.9 | 50.9  | 112.9 | 42.2  | 0.72 | 8.85 | 14.6 | 0.17 |

表 2 辽河表层沉积物中重金属含量/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ Table 2 Concentrations of heavy metals in surface sediments of Liao River/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 

| 采样点 | Ni   | Cu   | Cr   | Pb   | Cd   | Fe   | As   | Hg   |
|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|
| S16 | 12.2 | 11.2 | 35.7 | 15.4 | 0.05 | 3.08 | 2.1  | 0.10 |
| S17 | 12.8 | 8.8  | 28.7 | 14.4 | 0.04 | 2.61 | 3.6  | 0.11 |
| S18 | 12.4 | 10.4 | 37.6 | 16.0 | 0.04 | 3.23 | 3.8  | 0.11 |
| S19 | 25.1 | 9.9  | 33.2 | 15.1 | 0.04 | 2.80 | 3.4  | 0.11 |
| S20 | 20.4 | 18.3 | 56.2 | 18.3 | 0.20 | 4.23 | 11.6 | 0.13 |
| S21 | 27.4 | 15.3 | 48.7 | 16.3 | 0.06 | 3.61 | 10.1 | 0.13 |
| S22 | 23.7 | 23.1 | 70.6 | 20.9 | 0.16 | 5.87 | 13.4 | 0.00 |
| S23 | 37.1 | 27.5 | 91.3 | 17.6 | 0.08 | 6.66 | 14.5 | 0.03 |
| S24 | 32.2 | 21.5 | 71.0 | 22.2 | 0.31 | 5.56 | 13.8 | 0.03 |
| 均值  | 22.6 | 16.2 | 52.6 | 17.4 | 0.11 | 4.18 | 8.5  | 0.08 |

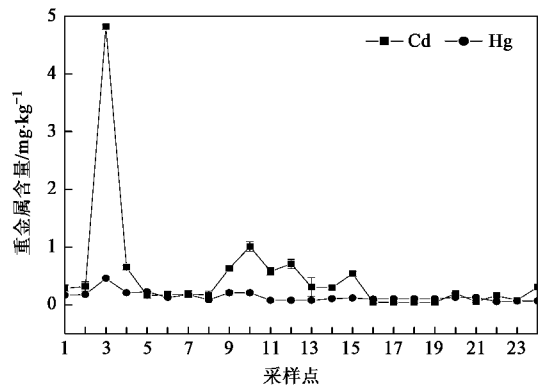
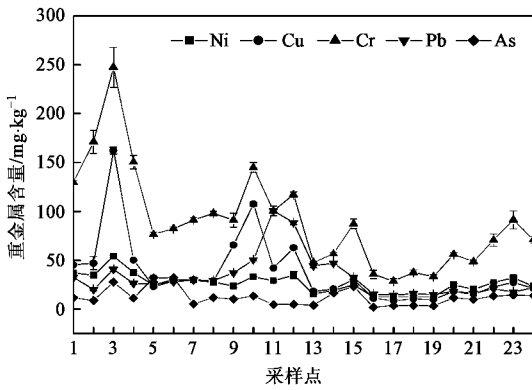


图 2 辽河水系表层沉积物中重金属含量沿程分布

Fig. 2 Variation of heavy metal concentrations in the surface sediments of Liao River

台子村的浑河段. 总体上来看, 大辽河的重金属含量普遍高于辽河.

与中国其它水系及 1998 年辽河表层沉积物中重金属含量相比较(表 3)<sup>[19~24]</sup>, 本次研究的辽河水系表层沉积物中的 Ni、Cu、Cr、Pb、Cd、As 的平均含量明显高于 1998 年的辽河调查结果. Cd 的平均含量为  $0.49 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 比 1998 年的调查结果增加了近 9 倍, 同时与其它水系相比, 仅低于海河, 居于第 2 位. Cr 的平均含量为  $90.3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 也仅低于海河, 比 1998 年的测定结果增加了 2.6 倍. Pb 平均值为  $32.9 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 远高于 1998 年的测定结果, 低于海河和珠江. Cu 平均含量为  $37.9 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 高于松花江和淮河, 是 1998 年调查结果的 4.6 倍. As 平均含量为  $12.3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 高于 1998 年测定结果的 2 倍, 也高于长江和珠江的 As 平均含量. Ni 平均含量为  $26.5 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 低于长江. Hg 平均含量为  $0.14 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , 低于长江和珠江.

表 3 中国不同水系表层沉积物重金属含量对比/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ Table 3 Concentrations of heavy metals in different sediments in China/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 

| 地点  | Ni   | Cu   | Cr    | Pb   | Cd   | As   | Hg   |
|-----|------|------|-------|------|------|------|------|
| 松花江 | —    | 21   | 33    | 5.5  | —    | —    | —    |
| 海河  | —    | 55.8 | 100.7 | 39.4 | —    | —    | —    |
| 淮河  | —    | 22.8 | 56.1  | 19.4 | —    | —    | —    |
| 长江  | 33.9 | 38.5 | 73.3  | 28.4 | 0.19 | 11.7 | 0.19 |
| 珠江  | —    | 39   | 56.4  | 59.4 | 1.4  | 5.24 | 1.4  |
| 辽河  | 26.5 | 37.9 | 90.3  | 32.9 | 0.49 | 12.3 | 0.14 |

## 2.2 辽河水系沉积物重金属污染程度分析

研究采用目前国内外常用的地累积指数法 ( $I_{\text{geo}}$ )<sup>[12]</sup>进行重金属的污染评价. 该方法是德国海德堡大学沉积物研究所的科学家 Muller 于 1979 年提出的用于研究沉积物中重金属污染程度的定量指标, 尤其适用于研究现代沉积物中重金属污染的评价, 以沉积物中重金属含量的高低反映污染水平.

地累积指数的计算公式如下：

$$I_{geo} = \log_2 [C_n (k \times B_n)]$$

式中,  $C_n$  是元素  $n$  在沉积物中的含量,  $B_n$  为沉积物中该元素的地球化学背景值, 该背景值取自辽宁省土壤重金属元素背景值<sup>[25]</sup>,  $k$  为考虑各地岩石差异

可能会引起背景值的变动而取的系数(一般取值为 1.5).  $I_{geo}$  值为地累积指数, 根据  $I_{geo}$  值 0~5 将污染等级分为 7 级, 对应污染程度为无污染至极强污染<sup>[26]</sup>. 根据地累积指数污染级别标准得到的重金属污染级别见表 4.

表 4 辽河水系表层沉积物重金属元素的  $I_{geo}$  及污染级别

Table 4  $I_{geo}$  and pollution level of heavy metals in the surface sediments of Liao River

| 采样点 | $I_{geo}(\text{Ni})$ | 级别 | $I_{geo}(\text{Cu})$ | 级别 | $I_{geo}(\text{Cr})$ | 级别 | $I_{geo}(\text{Cd})$ | 级别 | $I_{geo}(\text{Pb})$ | 级别 | $I_{geo}(\text{As})$ | 级别 | $I_{geo}(\text{Hg})$ | 级别 |
|-----|----------------------|----|----------------------|----|----------------------|----|----------------------|----|----------------------|----|----------------------|----|----------------------|----|
| 1   | 0.06                 | 1  | 0.73                 | 1  | 0.71                 | 1  | 1.09                 | 2  | 0.10                 | 1  | -0.05                | 0  | 1.93                 | 2  |
| 2   | -0.03                | 0  | 0.79                 | 1  | 1.11                 | 2  | 1.23                 | 2  | -0.60                | 0  | -0.47                | 0  | 2.01                 | 3  |
| 3   | 0.61                 | 1  | 2.57                 | 3  | 1.65                 | 2  | 5.14                 | 6  | 0.43                 | 1  | 1.18                 | 2  | 3.36                 | 4  |
| 4   | 0.07                 | 1  | 0.88                 | 1  | 0.93                 | 1  | 2.25                 | 3  | -0.21                | 0  | -0.12                | 0  | 2.23                 | 3  |
| 5   | -0.53                | 0  | -0.22                | 0  | -0.04                | 0  | 0.23                 | 1  | -0.23                | 0  | 1.38                 | 2  | 2.36                 | 3  |
| 6   | -0.22                | 0  | 0.08                 | 1  | 0.06                 | 1  | 0.40                 | 1  | -0.13                | 0  | 1.39                 | 2  | 1.54                 | 2  |
| 7   | -0.26                | 0  | 0.14                 | 1  | 0.21                 | 1  | 0.48                 | 1  | -0.03                | 0  | -1.21                | 0  | 2.01                 | 3  |
| 8   | -0.37                | 0  | 0.09                 | 1  | 0.31                 | 1  | 0.32                 | 1  | -0.06                | 0  | -0.06                | 0  | 1.01                 | 2  |
| 9   | -0.58                | 0  | 1.26                 | 2  | 0.20                 | 1  | 2.21                 | 3  | 0.29                 | 1  | -0.24                | 0  | 2.23                 | 3  |
| 10  | -0.10                | 0  | 1.98                 | 2  | 0.87                 | 1  | 2.89                 | 3  | 0.73                 | 1  | 0.12                 | 1  | 2.23                 | 3  |
| 11  | -0.29                | 0  | 0.63                 | 1  | 0.35                 | 1  | 2.09                 | 3  | 1.72                 | 2  | -1.36                | 0  | 0.84                 | 1  |
| 12  | -0.04                | 0  | 1.20                 | 2  | 0.57                 | 1  | 2.38                 | 3  | 1.54                 | 2  | -1.27                | 0  | 0.84                 | 1  |
| 13  | -1.21                | 0  | -0.58                | 0  | -0.72                | 0  | 1.18                 | 2  | 0.55                 | 1  | -1.58                | 0  | 0.84                 | 1  |
| 14  | -0.87                | 0  | -0.39                | 0  | -0.48                | 0  | 1.14                 | 2  | 0.63                 | 1  | 0.44                 | 1  | 1.30                 | 2  |
| 15  | -0.51                | 0  | 0.14                 | 1  | 0.14                 | 1  | 1.98                 | 2  | 0.10                 | 1  | 0.92                 | 1  | 1.42                 | 2  |
| 16  | -1.49                | 0  | -1.29                | 0  | -1.15                | 0  | -1.44                | 0  | -0.98                | 0  | -2.55                | 0  | 1.16                 | 2  |
| 17  | -1.55                | 0  | -1.63                | 0  | -1.46                | 0  | -1.77                | 0  | -1.08                | 0  | -1.77                | 0  | 1.30                 | 2  |
| 18  | -1.48                | 0  | -1.39                | 0  | -1.07                | 0  | -1.77                | 0  | -0.93                | 0  | -1.69                | 0  | 1.30                 | 2  |
| 19  | -1.53                | 0  | -1.46                | 0  | -1.25                | 0  | -1.77                | 0  | -1.01                | 0  | -1.86                | 0  | 1.30                 | 2  |
| 20  | -0.51                | 0  | -0.58                | 0  | -0.49                | 0  | 0.55                 | 1  | -0.73                | 0  | -0.08                | 0  | 1.54                 | 2  |
| 21  | -0.81                | 0  | -0.84                | 0  | -0.70                | 0  | -1.19                | 0  | -0.90                | 0  | -0.28                | 0  | 1.54                 | 2  |
| 22  | -0.38                | 0  | -0.24                | 0  | -0.16                | 0  | 0.23                 | 1  | -0.54                | 0  | 0.12                 | 1  | 0.42                 | 1  |
| 23  | -0.15                | 0  | 0.01                 | 1  | 0.21                 | 1  | -0.77                | 0  | -0.79                | 0  | 0.24                 | 1  | 0.65                 | 1  |
| 24  | -0.59                | 0  | -0.34                | 0  | -0.15                | 0  | 1.18                 | 1  | -0.46                | 0  | 0.17                 | 1  | 0.65                 | 1  |

从表 4 可明显看出, 大辽河的重金属污染程度远大于辽河, 这可能与大辽河流经的抚顺、沈阳、鞍山、辽阳等大中型城市大量排污有关. 其中采样点 3 的各种重金属污染级别均大于 1 级, 则可能与其流经沈阳和辽阳边界, 接纳两市污水有关. 几种重金属中, Cd、Hg 的污染程度最大, 平均污染级别均达到 2 级, 为中度污染, 其中采样点 3 的污染级别分别达到 6 级和 4 级, 为极强污染和强污染, 大辽河的其它采样点污染级别也均大于 1 级, 分别从中度污染到强污染. 重金属 Cu 和 Cr 的污染程度也较大, 同样是采样点 3 的污染级别分别为 3 级和 2 级, 为中度污染和中-强度污染, 其它采样点的污染级别大都在 1 级. 大辽河的 Pb、As 污染级别从 0~2 级不等, 而重金属 Ni 污染最轻, 只有少数几个采样点的污染级别为 1 级, 其它采样点均未被污染. 然而, 辽河除了受 Hg 污染较严重外, 其它重金属污染程度都较轻, 大部分采样点均未被污染. 从总体上分析污染程度, 各

重金属污染程度排序为: Cd > Hg > Cu > Cr > Pb > As > Ni.

### 2.3 辽河沉积物重金属相关性与来源分析

表 5 为辽河流域沉积物中各重金属及有机质间的相关性统计, 结果显示各污染物间有较强的相关性. 另外, 通过主成分分析计算, 前 2 个主成分反映了 75.92% 的变量信息, 贡献率分别为 58.74% 和 17.18%, 特征值分别为 5.287 和 1.546, 对这 2 个主成分进行分析可反映出全部数据的大部分信息, 见图 3.

主成分 1 的贡献率为 64.77%, 特征表现为因子变量在 Cu、Ni、Cr 上有较高的正载荷, 同时从相关性分析也可看出, Cu、Ni、Cr 之间具有较强的相关性, 相关系数从 0.795 (Cu-Ni) 至 0.927 (Cr-Ni), 可推测这几种重金属的来源具有相似性. Ni、Cr 主要来自城市工业污水, 如电镀工业, Cu 主要来自工业废水和生活污水<sup>[12]</sup>, 因此从 Cu、Ni、Cr 对主成分 1 的贡献率

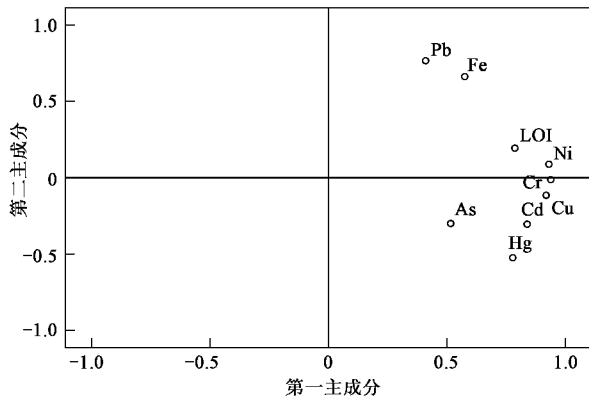


图3 各重金属及 LOI 的二维因子载荷

Fig.3 Loading plots of the heavy metals and LOI in the space defined by two components

表5 辽河水系表层沉积物重金属及有机质间相关系数

Table 5 Pearson correlation coefficients of heavy metals and LOI in the surface sediments of Liao River

|     | Cu    | Ni    | Cr    | Pb     | Cd    | As    | Hg    | Fe    | LOI   |
|-----|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Cu  | 1.000 |       |       |        |       |       |       |       |       |
| Ni  | 0.795 | 1.000 |       |        |       |       |       |       |       |
| Cr  | 0.877 | 0.927 | 1.000 |        |       |       |       |       |       |
| Pb  | 0.382 | 0.313 | 0.298 | 1.000  |       |       |       |       |       |
| Cd  | 0.888 | 0.686 | 0.759 | 0.251  | 1.000 |       |       |       |       |
| As  | 0.325 | 0.455 | 0.355 | -0.078 | 0.373 | 1.000 |       |       |       |
| Hg  | 0.785 | 0.625 | 0.730 | -0.029 | 0.812 | 0.464 | 1.000 |       |       |
| Fe  | 0.365 | 0.659 | 0.562 | 0.584  | 0.199 | 0.242 | 0.108 | 1.000 |       |
| LOI | 0.618 | 0.744 | 0.664 | 0.449  | 0.491 | 0.477 | 0.479 | 0.477 | 1.000 |

要化学成分,与 Fe 的相关性大小说明自然来源的可能性大小<sup>[9]</sup>.由此可看出,辽河流域沉积物中 Pb 的自然来源可能性大,如大气沉降、地球化学成分变化等.因此,主成分 2 表征了自然变化对沉积物的影响.

### 3 结论

(1) 本调查的辽河水系表层沉积物中各重金属含量明显高于 1998 年的辽河调查结果,与中国其它水系相比,辽河水系重金属含量处于中等水平.

(2) 大辽河重金属污染程度远高于辽河,重金属 Cd、Hg、Cu 污染程度大,Pb 污染较轻,Ni 属于无污染,各重金属污染程度排序为: Cd > Hg > Cu > Cr > Pb > As > Ni. 采样点 3 即沈阳市大滩子镇土台子村的浑河段污染最为严重.

(3) 通过主成分分析和相关分析,沉积物中全部信息可通过 2 个主成分来反映,主成分 1 支配着 Cu、Ni、Cr、Cd、Hg 的来源,代表着工业和生活污水污染,主成分 2 支配着 Pb 和 Fe 的来源,代表自然变化

可以理解主成分 1 代表了工业和生活污水污染对沉积物的影响.另外,Cd、Hg 与 Cu 也有较强的相关性(相关系数分别为 0.877 和 0.785),可知主成分 1 也支配着重金属 Cd 和 Hg 的来源,即工业和生活污水污染.主成分 1 在 LOI 上也有较高的正载荷,表明有机物作为金属离子结合物的重要性.从相关性分析还可看出,所有的重金属元素与 LOI 都呈显著的正相关,可推测有机质的降解伴随金属离子的释放可能是沉积物中重金属元素的又一来源<sup>[12,18]</sup>.

主成分 2 的贡献率为 16.81%,在重金属 Pb 和 Fe 上有较高的正载荷,分别为 0.659 和 0.620. Pb 与 Fe 的相关性系数为 0.585,显著相关性中等,但高于与其它金属的相关性.研究表明,Fe 是沉积物的主

对沉积物的影响.

参考文献:

- [1] 鲁斐. 主成分分析法在辽河水质评价中的应用[J]. 水利科技与经济, 2006, 10: 660-662.
- [2] Ghrefat H, Yusuf N. Assessing Mn, Fe, Cu, Zn, and Cd pollution in bottom sediments of Wadi Al-Arab Dam, Jordan [J]. Chemosphere, 2006, 6: 1-8.
- [3] Li X D, Onyx 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.
- [4] Santos J C, Beltran R, Gomez J L. Spatial variations of heavy metals contamination in sediments from Odiel river (Southwest Spain) [J]. Environment International, 2003, 29: 69-77.
- [5] Bertolotto R M, Tortarolo B, Frignani M, et al. Heavy metals in surficial coastal sediments of the Ligurian Sea [J]. Marine Pollution Bulletin, 2005, 50: 344-359.
- [6] 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.
- [7] Marchand C, Verges L, Baltzer F, et al. Heavy metals distribution in mangrove sediments along the mobile coastline of French Guiana [J]. Marine Chemistry, 2006, 98: 1-17.

- [ 8 ] Liu W X , Li X D , Shen Z G , *et al.* Multivariate statistical study of heavy metal enrichment in sediments of the Pearl River Estuary [ J ]. *Environmental Pollution* , 2003 , **121** : 377-388 .
- [ 9 ] Landajo A , Arana G , Diego A , *et al.* Analysis of heavy metal distribution in superficial estuarine sediments ( estuary of Bilbao , Basque Country ) by open-focused microwave-assisted extraction and ICP-OES [ J ]. *Chemosphere* , 2004 , **56** : 1033-1041 .
- [ 10 ] Sprovieri M , Feo M L , Prevedello L , *et al.* Heavy metals , polycyclic aromatic hydrocarbons and polychlorinated biphenyls in surface sediments of the Naples harbour ( southern Italy ) [ J ]. *Chemosphere* , 2007 , **67** : 998-1009 .
- [ 11 ] Carman C M , Li X D , Zhang G , *et al.* Trace metal distribution in sediments of the Pearl River Estuary and the surrounding coastal area , South China [ J ]. *Environmental Pollution* , 2007 , **147**( 2 ) : 311-323 .
- [ 12 ] Loska K , Wiechula D . Application of principal component analysis for the estimation of source of heavy metal contamination in surface sediments from the Rybnik Reservoir [ J ]. *Chemosphere* , 2003 , **51** : 723-733 .
- [ 13 ] 刘伟 , 陈振楼 , 许世远 等 . 上海市小城镇沉积物重金属污染特征研究 [ J ]. *环境科学* , 2006 , **27**( 3 ) : 538-543 .
- [ 14 ] 李玉 , 俞志明 , 宋秀贤 . 运用主成分分析( PCA )评价海洋沉积物中重金属污染来源 [ J ]. *环境科学* , 2006 , **27**( 1 ) : 137-141 .
- [ 15 ] 孟伟 , 刘征涛 , 范薇 . 渤海主要河口污染特征研究 [ J ]. *环境科学* , 2004 , **17** : 66-69 .
- [ 16 ] 周秀艳 , 王恩德 , 朱恩静 . 辽东湾河口底泥中重金属的污染评价 [ J ]. *环境化学* , 2004 , **23**( 3 ) : 321-325 .
- [ 17 ] 马德毅 , 王菊英 . 中国主要河口沉积物污染及潜在生态风险评价 [ J ]. *中国环境科学* , 2003 , **23**( 5 ) : 521-525 .
- [ 18 ] Borg H , Jonsson P . Large-scale metal distribution in Baltic Sea sediments [ J ]. *Marine Pollution Bulletin* , 1996 , **32** : 8-21 .
- [ 19 ] 冯丹 , 白羽军 . 松花江哈尔滨江段底质重金属污染状况调查研究 [ J ]. *黑龙江环境通报* , 2003 , **3** : 86-87 .
- [ 20 ] 刘俐 , 熊代群 , 李发生 . 海河及邻近海域表层沉积物重金属污染及其分布特征 [ J ]. *海洋环境科学* , 2006 , **25** : 40-44 .
- [ 21 ] 贺勇 . 淮河中下游底泥中的重金属与有机质研究 [ J ]. *安徽建筑工业学院学报* , 2005 , **13** : 79-82 .
- [ 22 ] 刘芳文 , 颜文 , 王文质 . 珠江口沉积物重金属污染及其潜在生态危害评价 [ J ]. *海洋环境科学* , 2002 , **21** : 34-38 .
- [ 23 ] 沈敏 , 于红霞 , 邓西海 . 长江下游沉积物中重金属污染现状与特征 [ J ]. *环境监测管理与技术* , 2006 , **18** : 15-18 .
- [ 24 ] Gawlik B M , Platzer B , Muntau H . Freshwater Contamination in China [ R ]. *European Communities* , 2001 . 145-161 .
- [ 25 ] 中国土壤元素检测总站 . 中国土壤元素背景值 [ M ]. 北京 : 中国环境科学出版社 , 1990 .
- [ 26 ] 董德明 , 路永正 , 李鱼 等 . 吉林省部分河流与湖泊表层沉积物中重金属的分布规律 [ J ]. *吉林大学学报( 地球科学版 )* , 2005 , **1** : 91-96 .