

· 调查与评价 ·

佛山水道底泥重金属污染调查

利锋^{1,2}, 韦献革¹, 余光辉¹, 温琰茂¹, 何树悠¹, 张磊¹, 骆海萍¹, 黄雁云¹, 任露陆¹

(1 中山大学环境科学与工程学院, 广东 广州 510275)

2 嘉应学院环境工程实验室, 广东 梅州 514015)

摘要: 为了解佛山水道底泥的污染状况, 对佛山水道底泥重金属的总体水平及其潜在生态危害进行了调查。结果表明, 佛山水道底泥重金属的质量比处于较高水平, Hg 的平均质量比达到背景值的 20 倍, As 的平均质量比是背景值的 2 倍多。根据潜在生态危害指数法的评价结果, 佛山水道底泥重金属对生态系统的危害已达到很强的程度; 各种重金属的生态危害排序为: Hg > Cd > Pb > Cu > As > Cr > Zn 其中 Hg 的生态危害已达到了极强的程度。

关键词: 底泥; 重金属; 潜在生态危害; 佛山

中图分类号: X825 文献标识码: B 文章编号: 1006-2009(2006)04-0012-03

The Investigation on the Present Situations of Heavy Metal Pollution of Sediment in Foshan Waterway

LI Feng^{1,2}, WEI Xian-ge¹, YU Guang-hui¹, WEN Yan-mao¹, HE Shu-you¹,ZHANG Lei¹, LUO Hai-ping¹, HUANG Yan-yun¹, REN Lu-lu¹

(1 School of Environmental Science and Engineering, Sun Yat-sen University, Guangzhou, Guangdong 510275, China; 2 Laboratory of Environmental Engineering, Jiaying College, Meizhou, Guangdong 514015, China)

Abstract The present situations and ecological risk of heavy metal pollution of sediment in Foshan waterway were depicted based on the investigation and monitoring. The distribution of heavy metals has much to do with the hydrological conditions of the river and the distribution of pollution sources. The harm of heavy metals of sediment in Foshan waterway was appraised by the method of potential ecological risk index. The results demonstrate that the harm has reached a high degree. The potential risk order of elements are Hg > Cd > Pb > Cu > As > Cr > Zn. Among them, the harm of Hg to the ecological system is very serious.

Key words Sediment; Heavy metals; Potential ecological risk; Foshan

佛山市地处珠江三角洲腹地, 河网交错, 地势平坦, 是典型的水网地区。随着佛山市经济的迅猛发展, 城市人口急剧增多, 向佛山水道的排污量大幅度增加, 使水道的水污染日趋严重, 水环境状况日益恶化。为了解佛山水道底泥的污染状况, 对佛山水道底泥重金属的总体水平及其潜在生态危害进行了调查。

1 调查方法

1.1 底泥样品的采集和预处理

根据佛山水道汇水范围污染源、沿岸支涌和闸口分布情况, 参考河道几何参数, 在佛山水道沿线

共布设 14 个底泥采样点, 于 2005 年 7 月按照预定的采样方案在佛山水道沿线各点采样。

每个采样点用柱状样采样器 (高 70 cm, 内径 7.5 cm) 在左、右岸采集两根柱样, 根据底泥表面特征, 在现场按上层 (污染层) 和下层 (自然层或轻污染) 切割, 分别混合为上、下层两个混合样 (其中陆边闸采样点分三层), 封存于双层洗净聚乙烯袋中, 冷冻保存。现场记录采样点附近状况, 底泥分

收稿日期: 2006-02-12 修订日期: 2006-04-13

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (40071074)

作者简介: 利锋 (1975-), 男, 广东蕉岭人, 高级实验师, 在读博士。

层深度和表现特征。

将底泥样品风干, 研磨成粉末样, 然后过 100 目网筛, 取筛后的粉末样 0.5 g。

1.2 分析项目和分析方法

分析项目为 Cr, Cu, Zn, Pb, As, Hg 和 Cd。所用底泥重金属分析方法见表 1。

表 1 所用底泥重金属分析方法

| 项目 | 测定方法 | 检测范围 $w / (mg \cdot kg^{-1})$ | 备注 |
|----|--|----------------------------------|------|
| Cd | 土样经盐酸-硝酸-高氯酸消解后, 石墨炉原子吸收分光光度法测定 ^[1, 2] | 0.025 以上 | 土壤总镉 |
| Hg | 土样经硝酸-硫酸-五氧化二钒或硫、硝酸锰酸钾消解后, 冷原子吸收法测定 ^[1, 2] | 0.004 以上 | 土壤总汞 |
| As | 土样经硝酸-盐酸-高氯酸消解后, 硼氢化钾-硝酸银分光光度法测定 ^[1-3] | 0.5 以上 | 土壤总砷 |
| Cu | 土样经盐酸-硝酸-高氯酸(或盐酸-硝酸-氢氟酸-高氯酸)消解后, 火焰原子吸收分光光度法测定 ^[1, 2] | 1.0 以上 | 土壤总铜 |
| Pb | 土样经盐酸-硝酸-氢氟酸-高氯酸消解后萃取-火焰原子吸收法测定 ^[2] | 0.4 以上 | 土壤总铅 |
| Cr | 土样经硫酸-硝酸-氢氟酸消解后, 加氯化铵溶液, 火焰原子吸收分光光度法测定 ^[1] | 1.0 以上 | 土壤总铬 |
| Zn | 土样经盐酸-硝酸-高氯酸, 火焰原子吸收分光光度法测定 ^[1, 2] | 0.5 以上 | 土壤总锌 |

1.3 分析质量控制

按照《土壤环境监测技术规范》(HJ/T 166-2004), 保证监测结果的可靠性。试验用水为高纯水, 由法国的 Millipore SAS 67120 Molsheim 净水机所制。所用试剂均为优级纯。玻璃仪器用后以稀盐酸浸泡, 高纯水冲洗 3 次, 干燥后再用。测试仪器为日立 Z 500 型原子吸收分光光度计(日本产)和 AFS-820 双道原子荧光光度计。所用仪器定期校正。

每次做标准曲线, 相关系数 $r \geq 0.999$ 时再测, 否则重做。测定均采用两个空白样, 如空白值太高则重新检查所用试剂、水、玻璃容器以及测试仪器。做平行试验及加标试验以检测结果的精度, 达不到要求的测试结果, 弃掉不用。

各个测试项目做准确度质控图, 用于分析质量的自控。使质控样的保证值 X 与标准偏差 s 在

95% 的置信水平, 以 X 作为中心线, $X \pm 2s$ 作为上下警告线, $X \pm 3s$ 作为上下控制线。

2 水道底泥重金属的总体状况及潜在生态危害评价

2.1 水道底泥重金属的总体水平和分布

佛山水道底泥重金属质量比见表 2。

表 2 佛山水道底泥重金属质量比^①

| 样品 | Pb | Cd | Hg | Cr | As | Cu | Zn |
|-------|-------|------|------|--------|-------|-------|--------|
| S0上 | 61.5 | 1.26 | 0.02 | 89.6 | 5.77 | 42.9 | 129.0 |
| S0下 | 46.0 | 0.65 | 0.17 | n.d. | 20.37 | 34.5 | 62.2 |
| S1上 | 382.8 | 7.86 | 4.11 | 1656.1 | 43.80 | 472.1 | 484.5 |
| S1下 | 170.7 | 3.10 | 7.15 | 1342.6 | 50.52 | 153.6 | 434.9 |
| S2上 | 204.7 | 2.72 | 4.56 | 40.2 | 26.59 | 261.5 | 467.7 |
| S2下 | 74.1 | 0.50 | 2.37 | 78.8 | 33.92 | 33.7 | 161.5 |
| S3上 | 172.6 | 3.70 | 3.2 | 359.8 | 38.76 | 186.1 | 445.7 |
| S3下 | 194.0 | 3.99 | 2.94 | 405.4 | 56.17 | 204.7 | 1027.8 |
| S4上 | 195.8 | 2.54 | 5.73 | 131.8 | 39.29 | 109.3 | 340.9 |
| S4下 | 207.1 | 1.82 | 6.84 | 82.9 | 42.02 | 88.3 | 379.2 |
| S5上 | 258.6 | 2.79 | 6.12 | 385.1 | 20.51 | 371.8 | 562.8 |
| S5下 | 353.5 | 4.73 | 8.27 | 700.5 | 45.79 | 482.3 | 976.8 |
| S5-1上 | 292.8 | 7.55 | 1.05 | 419.6 | 35.25 | 169.7 | 455.4 |
| S5-1下 | 270.9 | 7.25 | 1.88 | 309.9 | 37.66 | 309.3 | 369.1 |
| S6上 | 57.1 | 1.09 | 3.9 | 69.4 | 10.23 | 35.5 | 156.8 |
| S6下 | 141.7 | 1.92 | 2.34 | 162.7 | 39.23 | 75.7 | 308.0 |
| S7上 | 299.9 | 8.53 | 5.17 | 450.9 | 47.89 | 360.4 | 1364.4 |
| S7中 | 317.9 | 3.84 | 5.49 | 273.9 | 27.87 | 219.2 | 931.3 |
| S7下 | 77.1 | 0.70 | 4.48 | 171.5 | 17.02 | 128.1 | 387.3 |
| S8上 | 211.8 | 5.68 | 3.45 | 408.5 | 43.12 | 260.9 | 564.2 |
| S8下 | 175.5 | 7.44 | 3.82 | 416.2 | 26.29 | 284.6 | 432.0 |
| S9上 | 88.0 | 1.80 | 6.51 | 93.8 | 32.54 | 73.7 | 225.1 |
| S9下 | 114.8 | 1.99 | 4.93 | 62.0 | 23.8 | 42.0 | 117.9 |
| S10上 | 167.9 | 3.81 | 7.18 | 163.3 | 35.26 | 143.3 | 867.2 |
| S10下 | 298.7 | 5.50 | 7.51 | 257.8 | 66.09 | 238.4 | 1568.7 |
| S11上 | 166.7 | 2.52 | 6.00 | 124.8 | 32.97 | 116.2 | 720.9 |
| S11下 | 107.7 | 0.50 | 4.82 | 323.1 | 21.92 | 45.4 | 194.1 |
| S12上 | 191.5 | 0.81 | 3.97 | 75.6 | 33.83 | 89.0 | 266.0 |
| S12下 | 137.8 | 0.71 | 2.72 | 53.5 | 27.99 | 207.0 | 198.9 |

① “上”表示上层, “中”表示中层, “下”表示下层。

由表 2 可见, 重金属整体质量比最高是 S1、S10 和 S7 测点, 相对来说质量比较低的是 S6 和 S12。S12 测点在佛山涌的上游, 排污口很少, 水质较好, 底泥相对较为洁净; S6 所处河段水流较急, 污染物难以沉积, 底泥重金属积累也较少。而 S1 和 S10 采样点, 由于在纳污范围内, 岸上污染源排放到河涌中的重金属质量比很高, 所以底泥中重金

属质量比也高; S7 所在河段属于淤积区, 河流中的重金属可能迁移积聚在此河段, 所以质量比较高。由此可见, 佛山水道底泥重金属的分布与河道水文条件和岸上污染源的分布密切相关。

2.2 水道底泥重金属的潜在生态效应评价

2.2.1 评价方法

潜在生态危害指数法^[4]。

2.2.2 计算方法

(1) 第 i 种重金属污染系数

$$C_f^i = C_s^i / C_n^i \quad (1)$$

式中: C_f^i ——第 i 种重金属污染系数;

C_s^i ——底泥重金属实测值;

C_n^i ——底泥重金属背景值。

(2) 潜在生态危害系数

$$E_r^i = T_r^i \times C_f^i \quad (2)$$

式中: E_r^i ——某一重金属元素的潜在生态危害系数;

T_r^i ——毒性系数, 用于反映重金属的毒性水平和生物对重金属污染的敏感程度。

(3) 潜在生态危害指数

$$RI = \sum E_r^i = \sum T_r^i \times C_f^i \quad (3)$$

式中: RI ——潜在生态危害指数。

2.2.3 评价标准

底泥重金属生态危害的划分标准^[4-11]见表 3。

表 3 底泥重金属生态危害的划分标准

| 危害程度 | 轻微 | 中等 | 强 | 很强 | 极强 |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|
| E_r^i | < 40 | ≤ 80 | ≤ 160 | ≤ 320 | > 320 |
| RI | < 150 | ≤ 300 | ≤ 600 | > 600 | |

2.2.4 参数选择

底泥重金属的背景值 (C_n^i) 和毒性系数 (T_r^i) 见表 4^[4-6,9,10]。

表 4 底泥重金属的背景值 (C_n^i) 和毒性系数 (T_r^i)

| 元素 | Cr | Cu | Zn | Pb | As | Hg | Cd |
|---|----|----|----|----|----|------|------|
| $w(C_n^i) / (\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1})$ | 60 | 30 | 80 | 25 | 15 | 0.25 | 0.50 |
| T_r^i | 2 | 5 | 1 | 5 | 10 | 40 | 30 |

2.3 计算结果及评价

按照前述的计算方法和计算参数, 得出佛山水道底泥重金属的 E_r^i 值及 RI 值见表 5。

表 5 水道底泥重金属的潜在生态危害系数 (E_r^i) 和危害指数 (RI)

| 重金属 | Pb | Cd | Hg | Cr | As | Cu | Zn | RI |
|------|--------|----------|----------|--------|--------|--------|-------|----------|
| S1 | 76.56 | 471.60 | 657.60 | 55.20 | 29.20 | 78.68 | 6.06 | 1 374.90 |
| S2 | 40.94 | 163.20 | 729.60 | 1.34 | 17.73 | 43.58 | 5.85 | 1 002.24 |
| S3 | 34.52 | 222.00 | 512.00 | 11.99 | 25.84 | 31.03 | 5.57 | 842.95 |
| S4 | 39.16 | 152.40 | 916.80 | 4.39 | 26.19 | 18.23 | 4.26 | 1 161.43 |
| S5 | 51.72 | 167.40 | 979.20 | 12.84 | 13.67 | 61.97 | 7.04 | 1 293.84 |
| S6 | 11.42 | 65.40 | 624.00 | 2.31 | 6.82 | 5.92 | 1.96 | 717.83 |
| S7 | 59.98 | 511.80 | 827.20 | 15.03 | 31.93 | 60.07 | 17.06 | 1 523.07 |
| S8 | 42.36 | 340.80 | 552.00 | 13.62 | 28.75 | 43.48 | 7.05 | 1 028.06 |
| S9 | 17.60 | 108.00 | 1 041.60 | 3.13 | 21.69 | 12.28 | 2.81 | 1 207.11 |
| S10 | 33.58 | 228.60 | 1 148.80 | 5.44 | 23.51 | 23.88 | 10.84 | 1 474.65 |
| S11 | 33.34 | 151.20 | 960.00 | 4.16 | 21.98 | 21.98 | 9.01 | 1 199.06 |
| S12 | 38.30 | 48.60 | 635.20 | 2.52 | 22.55 | 22.55 | 3.33 | 765.33 |
| RI | 479.48 | 2 631.00 | 9 584.00 | 131.97 | 269.86 | 413.32 | 80.84 | |

由表 3 和表 5 可见, 佛山水道各采样点的 RI 值都已超过了 600, 按照评价标准, 其生态危害达到了很强的程度, 最大值出现在 S7、S10 和 S1 测点, 分别为 1 523.07 和 1 474.65 及 1 374.90。按照各重金属元素的 RI 值进行排序, 其危害程度依次为: $Hg > Cd > Pb > Cu > As > Cr > Zn$ 。

3 结语

佛山水道底泥重金属的质量比处于较高水平, Hg 的平均质量比达到背景值的 20 倍, 为各种重金属中最高; As 的平均质量比是背景值的 2 倍多, 为各种重金属中最低。

(下转第 18 页)

续表

| 组分 | GSS- 12 | | GSS- 16 | | 样品 1 | | 样品 2 | |
|--------------------------------|----------------|--------|----------------|--------|--------|-------|--------|--------|
| | 标准值 | 测定值 | 标准值 | 测定值 | 该方法 | 其他方法 | 该方法 | 其他方法 |
| P | 708 ± 9 | 716. 5 | 972 ± 34 | 947. 9 | 937. 4 | | 998. 8 | |
| Pb | 19 ± 2 | 18. 9 | 61 ± 2 | 59. 6 | 28. 3 | 26. 7 | 23. 7 | 22. 8 |
| Ti | 3 920 ± 70 | 3 942 | 5 780 ± 260 | 5 705 | 5 830 | | 4 909 | |
| V | 86 ± 4 | 86. 2 | 105 ± 4 | 100. 8 | 107. 8 | | 74. 8 | |
| Zn | 78 ± 5 | 75. 4 | 100 ± 8 | 97. 0 | 92. 4 | 90. 6 | 325. 1 | 300. 2 |
| SO ₂ | 60. 01 ± 0. 27 | 60. 56 | 63. 81 ± 0. 16 | 62. 69 | 61. 86 | | 64. 54 | |
| Al ₂ O ₃ | 13. 27 ± 0. 11 | 12. 87 | 17. 85 ± 0. 12 | 16. 91 | 13. 05 | | 10. 56 | |
| TF _e O ₃ | 4. 71 ± 0. 04 | 4. 78 | 5. 44 ± 0. 05 | 5. 38 | 5. 43 | | 4. 62 | |
| CaO | 5. 83 ± 0. 06 | 6. 15 | 0. 40 ± 0. 04 | 0. 44 | 3. 53 | | 4. 92 | |
| MgO | 2. 43 ± 0. 07 | 2. 54 | 0. 84 ± 0. 05 | 0. 87 | 2. 16 | | 1. 76 | |
| K ₂ O | 2. 62 ± 0. 05 | 2. 62 | 2. 50 ± 0. 04 | 2. 53 | 2. 38 | | 1. 83 | |
| N ₂ O | 2. 00 ± 0. 06 | 1. 97 | 0. 33 ± 0. 02 | 0. 41 | 1. 26 | | 1. 57 | |

①氧化物单位为%,其他元素单位为 mg/kg

3 结论

利用粉末压片、理论 α 系数扣除基体效应、X 射线荧光光谱法测定土壤及底泥样品中多个组分,经标准样品及不同分析方法验证,结果表明,该方法可对样品准确定量分析,且个别元素的检出限优于火焰原子吸收法。将该方法用于土壤环境中部分金属元素调查,相对于原子吸收等方法,大大缩短了分析时间,免去了样品提取过程,减少了环境污染,具有较高的经济效益。

[参考文献]

[1] 吉昂,陶光仪,卓尚军,等. X 射线荧光光谱分析 [M]. 北京:

科学出版社, 2003 1- 2

[2] 齐文启,汪志国. X 射线荧光分析法及其在环境监测中的应用 [J]. 环境监测管理与技术, 2004, 16(4): 9- 12
 [3] 国家环境保护局,国家技术监督局. GB/T 17137- 1997 土壤质量 总铬的测定 火焰原子吸收分光光度法 [S]. 北京: 中国标准出版社, 1997
 [4] 国家环境保护局,国家技术监督局. GB/T 17139- 1997 土壤质量 镍的测定 火焰原子吸收分光光度法 [S]. 北京: 中国标准出版社, 1997
 [5] 国家环境保护局,国家技术监督局. GB/T 17138- 1997 土壤质量 铜、锌的测定 火焰原子吸收分光光度法 [S]. 北京: 中国标准出版社, 1997

(上接第 14 页)

根据潜在生态危害指数法的评价结果,佛山水道底泥重金属对生态系统的危害已达到了很强的程度。各种重金属的生态危害排序为: Hg > Cd > Pb > Cu > As > Cr > Zn, 其中 Hg 的生态危害已达到了极强的程度; 各个采样断面中重金属危害程度最大的是 S7 和 S10 及 S1, 最小的是 S12。

[参考文献]

[1] 城乡建设环境保护部环境保护局. 环境监测分析方法 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1986.
 [2] 魏复盛. 土壤元素的近代分析方法 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1992.
 [3] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法 [M]. 北京: 中国农业科技出版社, 1999.
 [4] HAKANSON L. An ecological risk index for aquatic pollution control- sediment to logical approach [J]. Water Research, 1980 14: 975- 1001.

[5] 乔胜英,蒋敬业,向武,等. 武汉地区湖泊沉积物重金属的分布及潜在生态效应评价 [J]. 长江流域资源与环境, 2005, 14(3): 21- 26.
 [6] 刘芳文,颜文,于文质,等. 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(3): 34- 38
 [7] 赵健,郑祥民,毕春娟,等. 苏州河市郊段底泥重金属污染特征及对河道疏浚的影响 [J]. 农业环境保护, 2001, 20(1): 27- 30
 [8] 霍文毅,黄风茹,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
 [9] 何江,王新伟,李朝生,等. 黄河包头段水——沉积物系统中重金属的污染特征 [J]. 环境科学学报, 2003, 23(1): 53- 57.
 [10] 张海清,余海珊,温琰茂,等. 龙湾涌沉积物重金属污染现状评价 [J]. 中国环境管理, 2001, 20(2): 29- 31
 [11] 石浚哲,刘光玉. 太湖沉积物重金属污染及生态风险性评价 [J]. 环境监测管理与技术, 2001, 13(3): 24- 26

本栏目责任编辑 李文峻