

# 湘江 (株洲段) 沉积物重金属污染现状及生态风险评价

陈小威<sup>1</sup>, 刘文华<sup>1</sup>, 刘芬<sup>1</sup>, 文新宇<sup>2</sup>, 郭霞<sup>2</sup>

(1 湖南科技大学化学化工学院, 湖南 湘潭 411201; 2 株洲市环境监测中心站, 湖南 株洲 412000)

**摘要:** 采集湘江 (株洲段) 9 个断面的底泥样品, 和 1 个柱状样品, 对重金属 (Cu, Pb, Zn, Cd, Ni, Cr, Hg, As) 含量进行了检测; 并运用地质积累指数法对底泥中重金属进行了生态风险评价。结果表明, 该江段底泥已受到较严重的重金属污染, 在霞湾断面达峰值。Cu, Pb, Zn, Cd 含量为湘江背景值 4.6 倍 ~ 58.8 倍, 比该江段 20 世纪 80 年代均值增高 1.71 倍 ~ 1.96 倍; 地质积累指数评价结果表明, 该江段未受到 Ni, Cr 的污染; Cd 的污染比其他重金属的污染要严重, 污染级别为强-极强、极强; 重金属的垂直分布表明: 大体上, 各重金属元素最高值出现在深度 0 cm ~ 50 cm, 随深度的变化 Ni, Cr 的含量变化不大。

**关键词:** 湘江 (株洲段); 沉积物; 重金属污染; 生态风险评价

中图分类号: X825 文献标识码: B 文章编号: 1006-2009(2011)01-0042-05

## Evaluation of Pollution Situation and Ecological Risk for Heavy Metals in Sediment of Xiangjiang River (Zhuzhou Section)

CHEN Xiaowei<sup>1</sup>, LIU Wenhua<sup>1</sup>, LIU Fen<sup>1</sup>, WEN Xinyu<sup>2</sup>, GUO Xia<sup>2</sup>

(1 The Chemical Industry Department of Xiangtan Institute, Xiantan, Hunan 411201, China;

2 Zhuzhou Environmental Monitoring Center, Zhuzhou, Hunan 412000, China)

**Abstract** Heavy metals (Cu, Pb, Zn, Cd, Ni, Cr, Hg, As) were detected in the samples which were collected in nine cross sections and one vertical section at Xiangjiang River of Zhuzhou. Ecological risk was evaluated by index of geoaccumulation method. The results showed that sediment of Zhuzhou section had polluted seriously and pollutant concentration at Xiaowan was the highest among all samples. The concentrations of Cd, Pb, Zn and Cu reached 4.6~58.8 times higher than background values of Xiangjiang river, and 1.71~1.96 times higher than the heavy metal values during the 1980s. There were no evidence of Ni and Cr pollution by evaluation of the geoaccumulation index. Cd was the top pollutant and pollution level had reached high-highest or the highest. The highest values of the heavy metals were found in the vertical section samples between 0 cm and 50 cm except Ni and Cr.

**Key words** Xiangjiang River of Zhuzhou section; Sediments; Heavy metal pollution; Ecological risk assessment

湘江是湖南省最大河流和沿岸城乡工农业生产和人民生活的重要水源, 株洲是湘江流域主要的工业城市和重要的冶金和化工基地。自上世纪 50 年代以来, 随着工业的快速发展, 大量重金属污染物随工业废水和废弃物进入湘江并沉积于江底, 对湘江的生态环境造成了较严重的影响, 成为长沙、株洲、湘潭等城市水源安全的重大隐患。

河流沉积物是水环境的重要组成部分, 既能为河流中的各种生物提供营养物质, 同时又是有毒

有害物质的贮藏库<sup>[1]</sup>。进入河流的重金属污染物, 不易被微生物降解, 绝大部分会迅速由水相转为固相, 结合到悬浮物和沉积物中。结合到悬浮物中的重金属在被水流搬运过程中, 当其负荷量超过

收稿日期: 2010-07-20 修订日期: 2010-11-20

基金项目: 特殊类型河流污染防治与水质改善关键技术研究  
与示范基金资助项目 (2008ZX07212-001-06)

作者简介: 陈小威 (1986-), 男, 湖南岳阳人, 在读硕士研究生, 主要研究方向为环境分析化学与绿色化学工艺。

搬运能力时最终也将进入沉积物<sup>[2-3]</sup>。

水体沉积物既是重金属污染的汇集地, 又是对水质有潜在影响的次生污染源<sup>[4]</sup>, 在环境条件改变时, 束缚在其中的重金属被释放出来, 造成二次污染<sup>[5-6]</sup>。对多数重金属而言, 其进入水体后, 首先被悬浮在水体中的颗粒物所吸附, 经过一段时间的絮凝沉淀, 最后在受纳水体底部沉积物中累积<sup>[7]</sup>。现对湘江(株洲段)沉积物重金属污染现状进行调查, 并运用地质积累指数法对底泥中重金属进行生态风险评价。

## 1 调查方法

### 1.1 调查区域

湘江干流自株洲县王十万入境, 自北向南, 纵贯株洲县和市区, 至天元区马家河出境, 境内 88 km, 流域面积 1 854.66 km<sup>2</sup>。调查所选污染较重的江段自枫溪港至马家河, 全长 18 km, 江面宽 500 m~800 m, 与之汇入的支流为枫溪港、建宁港、白石港、霞湾港等。该江段流经石峰区清水塘工业区, 该区域内有株冶、株化、湘氨等 70 多家冶炼、化工企业, 主要污染物有重金属 (Pb, Cd)、石油类等。废水由霞湾港排入湘江, 是湘江(株洲段)重金属主要的污染源。

### 1.2 点位布设

设 8 个采样断面, 分别为 S1—S8 见图 1。

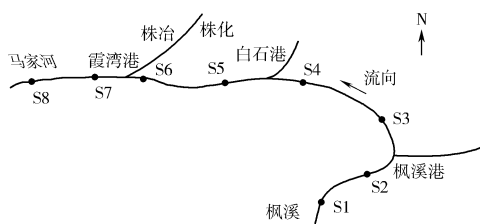


图 1 采样点分布

Fig 1 Sampling sites for the Xiangjiang River

### 1.3 样品的采集和处理

按照河床形态、水文条件、排污口分布、支流状况等特点, 于 2009 年 11 月份(枯水期), 用抓斗式采泥器采集河流沉积物表层(0 cm~5 cm)样品。市区段污染严重, 采样相对密集。S7 断面位于老霞湾港口下游大约 700 m 的左岸污染带上, 在一定程度上反映了重金属的污染累积的程度。根据采样的实际情况, 在 S7 断面自上而下每 50 cm 分取

一个样品, 取样深度达 3~5 m 以上, 以保证到达河床基层。

对样品作现场描述, 编号后用洁净的聚乙烯袋装好并密封袋口, 贴好标签运回实验室。将样品置于背光通风处自然风干, 剔出砾石等杂物, 过 100 目筛, 于棕色广口瓶中贴上标签保存待用。

### 1.4 样品的分析

对每个样品都进行 Cu、Pb、Zn、Cd、Cr、Ni、As、Hg 总量分析, Cu、Pb、Zn、Cd、Cr、Ni 消解方法参照国标四酸 (HCl-HNO<sub>3</sub>-HF-HClO<sub>4</sub>) 消解法 (《GB/T 17137-17140-1997》), 用火焰原子吸收分光光度法测定; As 用 HNO<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 消解, 二乙氨基二硫代甲酸银光度法测定; Hg 用硫硝酸-KMnO<sub>4</sub> 法消解, 冷原子吸收法测定。

## 2 结果与讨论

### 2.1 底泥中的重金属的含量特征

湘江(株洲段)沉积物重金属含量见图 2(a)(b)(c)(d)(e)(f)(g)(h)。

由图 2 可见, 湘江(株洲段)从上游 S1 即朱亭断面开始, 重金属含量基本呈上升趋势, 这与湘江不断接纳各支流(特别是霞湾港)携带的重金属污染物有关。上游 S3 采样点之上, 由于污染源较少, 各种重金属的含量相对较少; 中游污染源增多, 重金属含量相对增高; 重金属最高值大部分出现在下游地段。

(1) 底泥中重金属的含量与与工业重点污染源排水口分布位置有关, 底泥中重金属含量在 S7、S6 达到最大值, 其含量明显高于上游的几个断面。如 S7 受清水塘工业区大型工矿企业 Pb、Zn 废水排放的影响, 因此出现 Pb、Zn 含量值异常高, 分别达到 253 mg/kg、887 mg/kg。

(2) 污染严重的重金属 Cu、Pb、Zn、Cd 平均值分别达到了 76.7 mg/kg、155 mg/kg、500 mg/kg、29.4 mg/kg 与 20 世纪 80 年代湘江均值<sup>[8]</sup> [ $w(\text{Cu}) = 44.4 \text{ mg/kg}$ ,  $w(\text{Pb}) = 68.9 \text{ mg/kg}$ ,  $w(\text{Zn}) = 293 \text{ mg/kg}$ ,  $w(\text{Cd}) = 15.0 \text{ mg/kg}$ ] 相比, 分别为 80 年代湘江均值的 1.73、2.25、1.71、1.96 倍, 近 30 年城市工业化的发展对湘江(株洲段)沉积物的污染较重。与湘江底泥背景值<sup>[9]</sup> [ $w(\text{Cu}) = 16.7 \text{ mg/kg}$ ,  $w(\text{Pb}) = 22.5 \text{ mg/kg}$ ,  $w(\text{Zn}) = 73.0 \text{ mg/kg}$ ,  $w(\text{Cd}) = 0.500 \text{ mg/kg}$ ] 相比, 其均值分别为背景值的 4.6、6.89、6.85 和 58.82 倍。

(3) Ni、Cr、Hg、As 的平均值分别达到了

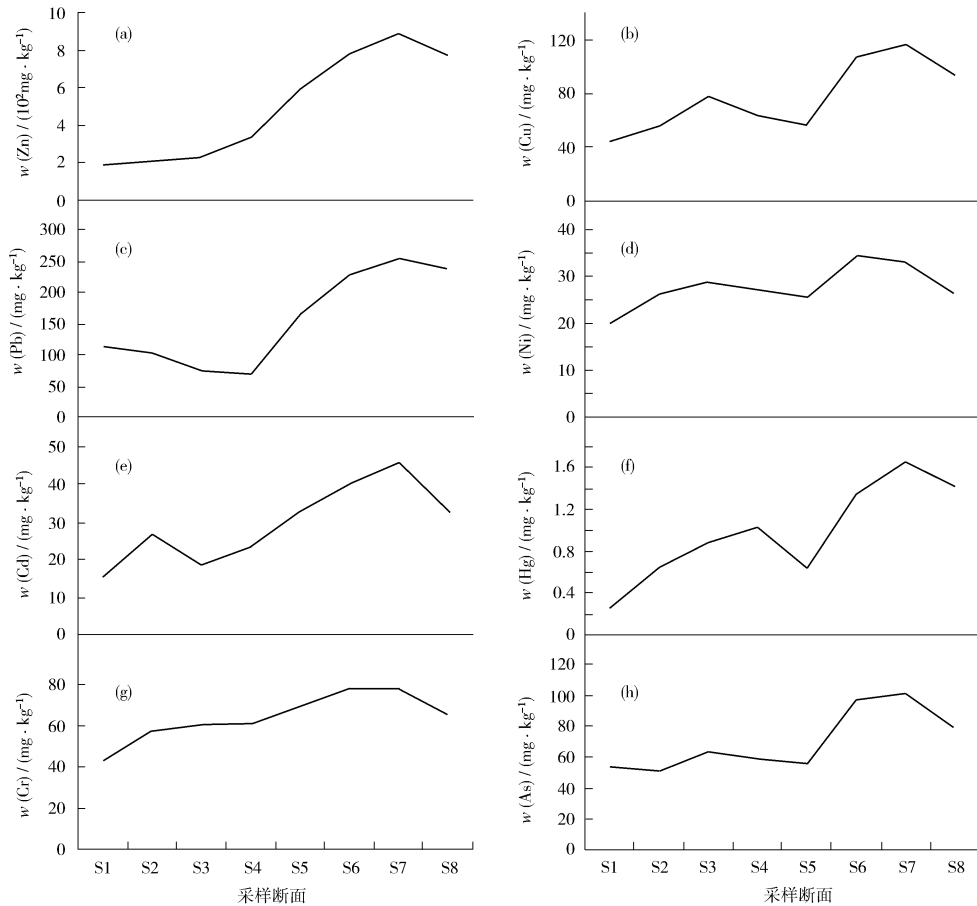


图 2 湘江(株洲段)沉积物中重金属含量

Fig 2 The contents of heavy metals in sediment of the Xiangjiang River

27.7 mg/kg, 64.1 mg/kg, 0.990 mg/kg, 70.2 mg/kg

2.2 沉积物地质积累指数与污染评价

运用地质积累指数法<sup>[10]</sup>,对底泥中重金属的污染程度进行了评价。

$$I_{geo} = \log_2 [C_n / (1.5 B_n)]$$

式中:  $C_n$ ——元素  $n$  在沉积物中的质量比;

$B_n$ ——元素  $n$  在沉积岩中的地球化学背景值,现采用的背景值见表 1;

1.5——表征成岩作用与背景值相互关系的常量。

根据  $I_{geo}$  值的大小,把沉积物中重金属污染程度分为 6 个等级:无污染 ( $I_{geo} < 0$ ),无-中污染 ( $0 < I_{geo} < 1$ ),中污染 ( $1 < I_{geo} < 2$ ),中-强污染 ( $2 < I_{geo} < 3$ ),强污染 ( $3 < I_{geo} < 4$ ),强-极强污染 ( $4 < I_{geo} < 5$ ),极强污染 ( $I_{geo} > 5$ )。底泥中重金属污染级别见表 2。

表 1 地质积累指数地球化学背景值 mg/kg

Table 1 Geochemistry background evaluated by index of geo accumulation mg/kg

元素	Zn	Cu	Pb	Ni	Cd	Hg	Cr	As
背景值	118.00	45.00	34.00	68.00	0.40	0.35	62.00	13.00

表 2 湘江(株洲段)沉积物重金属污染级别

Table 2 Pollution levels of heavy metals in sediment of the Xiangjiang River

采样点	$I_{geo}$ 分级							
	Zn	Cu	Pb	Ni	Cd	Hg	Cr	As
S1	无-中	无	中	无	强-极强	无	无	中
S2	无-中	无	无-中	无	极强	无-中	无	中
S3	无-中	无-中	无-中	无	强-极强	无-中	无	中
S4	无-中	无	无-中	无	极强	无-中	无	中
S5	中	无	中	无	极强	无-中	无	中
S6	中-强	无-中	中-强	无	极强	中	无	中-强
S7	中-强	无-中	中-强	无	极强	中	无	中-强
S8	中-强	无-中	中-强	无	极强	中	无	中-强

由表 2 可见,  $Ni$ 、 $Cr$  的地质积累指数  $< Q$  污染级别为无污染, 说明湘江(株洲段)底泥受  $Ni$ 、 $Cr$  的污染不大。  $Zn$ 、 $Pb$  在采样点 S5 污染级别为中, 从 S5 开始下游采样点为中-强污染级别, 除了受清水塘工业区所排废水的影响, 与大气沉降、地表径流等  $Pb$  污染源增加有关。

$Cu$  在 S3、S6、S7、S8 为无-中污染, 其他采样点的污染级别为无;  $Hg$  在 S2~S5 的污染级别无-中污染, 采样点 S1 为无污染, S6 开始到下游 S7、S8 污染级别为中污染;  $As$  在下游污染级别为中-强污染, 上游几个采样断面的污染级别稍低。

各采样点  $Cd$  的污染级别为最大, 为强-极强、极强污染。 近年来, 受霞湾港清水塘工业区所排工业废水污染的影响,  $Cd$  的积累量逐年增大, 下

游的采样点已表现出极强的污染; 上游的污染级别为强-极强、极强是湘江衡阳段多年重金属污染积累所致。

### 2.3 沉积物重金属的垂直分布

沉积物中重金属的剖面垂向分布是水体重金属污染历史的记录, 对研究水体重金属环境污染有重要意义<sup>[11]</sup>。 点 S7 重金属的含量的垂直分布见图 3(a)(b)(c)(d)(e)(f)(g)(h)。 由图 3 可见, 多数重金属元素的最高值为 0 cm ~ 50 cm, 从一定程度上反映了重金属的污染历史。 近几年随经济的发展, 大量的工业废水, 特别是冶炼、大型化工企业废水直接排入湘江株洲段, 或者通过各港口流入湘江, 其中的重金属则迅速进入沉积物中, 直接造成了表层的重金属含量相对很高。

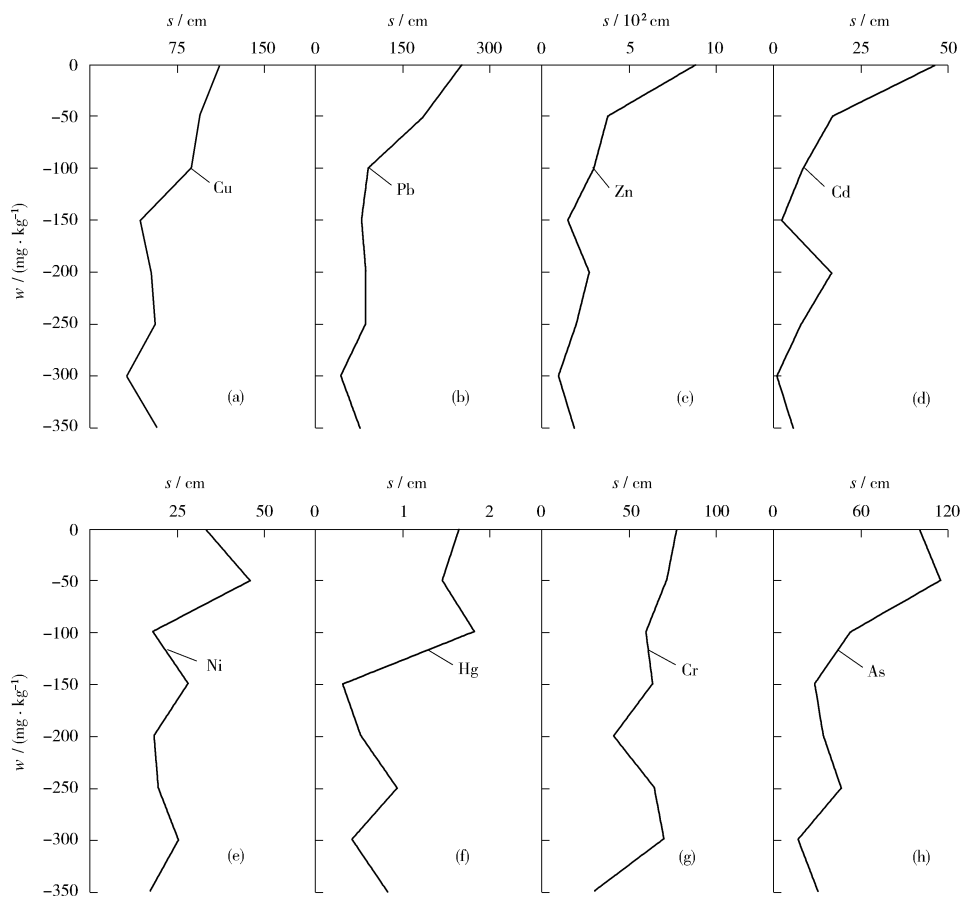


图 3 S7 断面沉积物中重金属含量垂直分布

Fig 3 Vertical distribution of heavy metal concentrations in sediment samples from the Xiangjiang River

由图 3 可见, 柱状样中  $Zn$  含量随深度变化呈锯齿状多峰分布。  $Zn$  的平均值为 500 mg/kg 表层

泥样  $Zn$  最高值达到 887 mg/kg 在 50 cm 的深度  $Zn$  值约为 500 mg/kg 可以估算近年来沉积物中

Zn 的污染很严重, 这可能与霞湾工业区冶炼企业有关。在 50 cm~350 cm 范围 Zn 含量变化不大, 呈稳定的锯齿状的分布, < 500 mg/kg

柱状样中 Cu Pb 的平均值分别为 66.7 mg/kg 112.7 mg/kg 最大值分别为 112 mg/kg 254 mg/kg 都出现在表层。在深度为 100 cm~350 cm, Cu Pb 的含量曲线相似, 变化幅度不大。

柱状样中 Cd 的平均值为 13.2 mg/kg 最大值为 46.1 mg/kg 最大值出现在表层的位置, 在 200 cm 的位置出现一个峰值。柱状样中 Ni Cr 含量随深度变化呈锯齿状多峰分布, Ni Cr 的平均值分别为 25.4 mg/kg 60.1 mg/kg 最大值分别为 46.1 mg/kg 78.0 mg/kg 最大值分别出现在深度为 50 cm 及表层。

柱状样中 Hg As 平均值分别为 0.996 mg/kg 53.6 mg/kg 最大值分别为 1.65 mg/kg 116 mg/kg 出现在 100 cm、50 cm 的位置。

### 3 结论

(1) 湘江(株洲段)沉积物中重金属含量总体上趋高, 在 S7 断面达到峰值, Cu Pb Zn Cd 含量与 20 世纪 80 年代均值相比, 均有一定程度增高, 增幅最大为 Cd 各种重金属含量高于湘江背景值。

(2) 重金属污染评价表明, 各断面 Cd 的污染级别最高; Cu Pb Zn Hg As 的污染级别要高于上游几个断面的污染级别, 特别是 S7 断面的污染级别最高。Ni Cr 的地质积累指数 < Q 表明湘江(株洲段)未受到这两种元素的污染。

(3) 沉积物重金属剖面垂向分布表明, 重金属

含量随深度变化多呈锯齿状分布, 各种重金属多集中在 0 cm~50 cm 的深度, Ni Cr 的深度变化不大。近 30 年来株洲经济的快速发展产生的污染对湘江(株洲段)沉积物的累积影响显著。

#### [参考文献]

- [1] 白晓慧, 杨万东, 陈华林, 等. 城市内河沉积物对水体污染修复的影响研究[J]. 环境科学学报, 2002, 22(5): 562-565.
- [2] 杨清伟, 蓝崇钰, 束文圣, 等. 长江(乐昌段)水体底泥中重金属污染调查与评价[J]. 环境监测管理与技术, 2008, 20(2): 18-21.
- [3] 贾振邦, 赵智杰, 杨小毛. 洋河涌、茅洲河和东宝河沉积物中重金属的污染及评价[J]. 环境化学, 2001, 20(3): 212-219.
- [4] DAM N S. Development sediment quality criteria[J]. Environmen Sci Technol 1998, 22(11): 1256-1261.
- [5] 石浚哲, 刘光玉. 太湖沉积物重金属污染及生态风险评价[J]. 环境监测管理与技术, 2001, 13(3): 24-26.
- [6] 周灵辉. 外秦淮河底泥重金属污染及生态风险评价[J]. 环境监测管理与技术, 2003, 15(5): 41-42.
- [7] DEXTER K S WARD N I. Mobility of heavy metals with in freshwater sediments affected by motorway stormwater[J]. Science of the Total Environment 2004(334): 271-277.
- [8] 潘佑民, 黄璋, 董文江, 等. 河流重金属污染研究[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1986 51-68.
- [9] 陈静生. 中国水环境重金属研究[M]. 北京: 中国科学出版社, 1992.
- [10] MULLER G. Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River[J]. Geojournal 1969(2): 108-118.
- [11] BAKAN G, BALKKAS T. Enrichment of metals in the surface sediments of Saponca Lake[J]. Water Environmental Research, 1999(71): 71-74.

#### · 简讯 ·

## 江苏省 2010 年排污收费额突破 20 亿元

新年伊始, 从江苏省财政厅国库处获悉, 江苏省 2010 年度排污费征收解缴入库额达 20.95 亿元, 比上年 18.97 亿元增收 10.4%, 上缴中央财政 2 亿元, 环保部门征收额连续十年名列全国第一。其中 9 个市入库额超亿元: 苏州 3.5 亿, 南京 3.1 亿, 无锡 2.3 亿, 徐州 1.8 亿, 南通 1.6 亿, 常州 1.4 亿, 扬州 1.3 亿, 泰州 1.2 亿, 镇江 1.1 亿。2001 年至 2010 年江苏省共征收解缴排污费 132.56 亿元, 为污染治理减排和环保事业发展提供了资金保障。

江苏省排污费征收工作取得新进展, 是在全省“十一五”污染物总量减排目标提前完成, SO<sub>2</sub> 和 COD 等污染物排放量明显下降的情况下取得的。这是省环保厅有力领导和全省各级环保系统共同努力的结果, 是全省环境监察人员严格执法、不畏艰辛、勇于奉献, 严格执行国家排污收费政策和法律法规规定的结果, 并在七大方面取得进展。

一是统一思想, 将依法征收作为收费工作基本原则; 二是继续提高排污费征收标准; 三是加强对基层收费工作的督促指导; 四是强化排污费稽查; 五是稳步推进排污申报, 夯实工作基础; 六是做好国家重点监控企业排污费网上公告工作, 完善排污收费政务公开制度; 七是提高污染物排放量核定的科学性。

摘自 www. jshb.gov.cn 2011-01-10