

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2020.17.014

某河流河口污染沉积物取样研究与特征分析

韩正平¹, 张立伟², 陈雪雯¹

(1. 中国市政工程华北设计研究总院有限公司, 天津 300381; 2. 山东水发鲁润水务科技有限公司, 山东 济南 250013)

摘要: 针对河口地区日益恶化的生态问题,设计开发了对某河流河口地区污染沉积物进行多位点、多层次的取样分析系统,并根据国内现有标准规范制定了污染程度判定依据,同时研究了该河口污染沉积物特征对河口污染的影响。结果表明,污染该地区的主要超标源为 DDT 和六六六。DDT 浓度在整个采样深度内始终维持较高的水平,最高可达 1.51 mg/kg,超标位点占全部测量位点的 60%。六六六分布形式与 DDT 相同,最高浓度达 1.89 mg/kg。通过对这 2 种污染物的特征分析,推进了河口地区的生态恢复工程建设。

关键词: 污染沉积物; 河口; 样本处理; 特征分析

中图分类号: TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2020)17-0079-06

Sampling and Characteristic Analysis of Contaminated Sediments in a River Estuary

HAN Zheng-ping¹, ZHANG Li-wei², CHEN Xue-wen¹

(1. North China Municipal Engineering Design & Research Institute Co. Ltd., Tianjin 300381, China; 2. Shandong Shuifalurun Service Technology Co. Ltd., Jinan 250013, China)

Abstract: Aiming at the deteriorating ecological problems in estuary areas, a multi-point and multi-level sampling and analysis system for contaminated sediments in a river estuary area was designed and developed. According to the existing domestic standards, a criterion for determining the pollution degree was established, and influence of the characteristics of the contaminated sediments on estuary pollution was studied. The main sources of pollution in the region were dichlorodiphenyltrichloroethane (DDT) and benzene hexachloride (BHC). The DDT concentration was maintained at a high concentration level throughout the sampling depth. The maximum DDT concentration was up to 1.51 mg/kg, and the over-standard sites accounted for 60% of all the measured sites. The distribution pattern of BHC was the same as DDT, and the maximum concentration was 1.89 mg/kg. Through analysis of the characteristics of these two pollutants, the ecological restoration project in the estuary area had been promoted.

Key words: contaminated sediment; estuary; sample treatment; feature analysis

河口地区是海陆交接的重要地区,也是陆源污染导致海洋生态环境恶化的直接作用点^[1],还是人

类开发活动最为密集的地区。笔者调查的河口是某河流流域 $31.8 \times 10^4 \text{ km}^2$ 、 1.22×10^8 人口生产和生

活污染最终排入海的通道,也是影响海水水质的重要污染源。该区域内多个省市的全部或部分污水经此入海,给河口地区业已脆弱的生态环境带来了毁灭性影响,河口生态系统退化严重,解决河口地区生态环境恶化问题刻不容缓。

污染沉积物治理是河口生态系统恢复的重要措施,为了解某河流河口地区污染沉积物的特征,笔者对该地区的污染沉积物进行了多位点、多层次的较为完备的取样分析,共布设间隔 10 m 的采样断面 20 个,分层采集沉积物样品 240 个。同时对该河流河口沉积物的污染程度、污染范围等特征参数进行了全面调查及分析,旨在为环境治理工程的顺利实施奠定基础。

1 河口污染沉积物调查方案的制定

由于河口区域受污染地段占地广阔,因此需要制定专门的调查方案来确保对污染沉积物各个参数的准确获取。本研究结合实际目标区域,采用分段调查方法对污染河口进行了多位点划分,并多次取样以防止采样中存在的偶然性。

1.1 调查取样区域

排污河口污染物调查取样目标区域位于某地临港经济区西北部,总面积约为 $23.4 \times 10^4 \text{ m}^2$ 。该排污河口所属排污河的河水呈深黑色或深褐色,带有明显的臭味,夏天味道更重,其位置如图 1 所示(红线处即为排污河流域)。

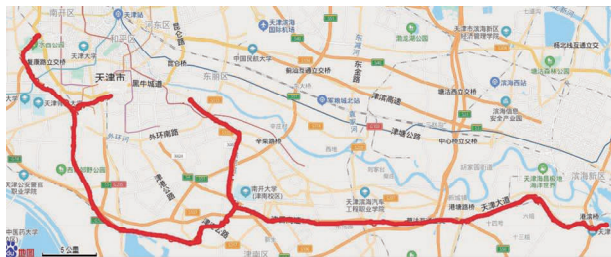


图1 调查样本所属排污河位置

Fig.1 Map of survey sample location

排污河口所在地地形较为狭窄,与外海的水交换能力较差,污水中大量污染颗粒物胶体在咸淡交替的环境中凝聚沉积,使河口水底表层覆盖了一层厚厚的污染层。

1.2 调查取样方法

在排污河口污染物调查取样目标区域内,沿河口河段均匀布设 20 个采样断面,每个断面布设 4 个采样位点,各个断面间隔 10 m,如图 2 所示,以便将

污染河流调查范围水平覆盖。经过前期调查发现,深度为 2~2.5 m 的样品中各种污染物的浓度已经接近于目标区域未污染土壤,因此本次调查将采样最大深度确定为 1.5 m,每个采样位点采集 3 层 1.5 m 柱状河道沉积物样品,如图 3 所示,以分析不同深度上沉积物的污染状况。

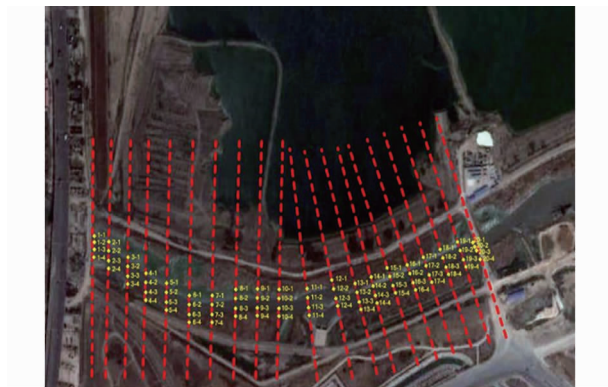


图2 某河流河口底泥环境检测位点分布

Fig.2 Distribution of sediment environment detection points in a river estuary

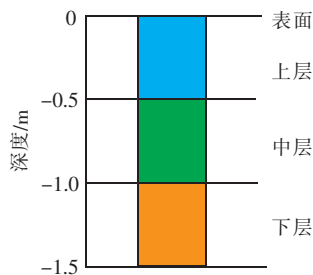


图3 1.5 m 柱状 3 层污染沉积物采样示意

Fig.3 Schematic diagram of 1.5 m columnar 3-layer contaminated sediment sample

共采集 240 个污染沉积物样品,分别对每个样品进行检测。样品检测项目包括金属类(铅、铬、镉、汞、铜、砷、锌、镍)、多环芳烃类[萘、苊烯、苊、芴、菲、蒽、荧蒽、芘、蒽、苯并(a)蒽、苯并(b)荧蒽、苯并(k)荧蒽、茚并(1,2,3-cd)芘、苯并(a)芘、二苯并(a,h)蒽和苯并(g,h,i)花]、有机氯农药(DDT、六六六、六氯苯)共 27 种物质。

1.3 污染沉积物样本的采集与检测

按照《海洋监测规范第 3 部分:样品采集、贮存与运输》(GB 17378.3—2007)要求进行样品的采集、贮存与运输工作。本研究的采样深度为 1.5 m,采样深度较浅,采样设备为重力采样器。

采样类别为底泥,铬按照 HJ 491—2009 中火焰

原子吸收分光光度法测定,使用的仪器为原子吸收分光光度计;铜、锌按照 GB 17378.5—2007 中火焰原子吸收分光光度法测定,使用的仪器为原子吸收分光光度计;镍按照 GB/T 17139—1997 中火焰原子吸收分光光度法测定,使用的仪器为原子吸收分光光度计;铅、镉按照 GB 17378.5—2007 中石墨炉原子吸收分光光度法测定,使用的仪器为石墨炉原子吸收分光光度计;砷、汞按照 GB 17378.5—2007 中原子荧光法测定,使用的仪器为液相色谱-原子荧光光度计联用仪;六六六、DDT 按照 GB 17378.5—2007 中气相色谱法测定,使用的仪器为气相色谱仪;六氯苯、多环芳烃类[萘、苊烯、苊、芴、菲、蒽、荧蒽、芘、苯并(a)蒽、苯并(b)荧蒽、苯并(k)荧蒽、茚并(1,2,3-cd)芘、苯并(a)芘、二苯并(a,h)蒽和苯并(g,h,i)花]、多氯联苯按照 HJ/T 350—2007 附录 D 中气相色谱-质谱法测定,使用的仪器为气相色谱-质谱联用仪(7890/5975C)。

2 河口污染沉积物调查结果处理

污染沉积物是指淤积河流或湖泊底部的有机质或重金属,例如生物残骸、淤泥、黏土或砂石等,了解污染沉积物的组成将对清淤工程设计提供支持^[2]。根据上述提到的取样方法与分析手段,本研究获取了目标区域污染沉积物样本的原始数据,并通过给出污染程度的判别依据来分析河口地区的污染现状。对河口区域内污染沉积物的成分进行分析,可为下一步制定污染治理方案奠定基础。

2.1 污染程度判别依据

本研究的目标区域属于海洋港口水域,因此其沉积物污染程度调查以《海洋沉积物质量》(GB 18668—2002)作为判别依据;而为了实现资源利用的最大化,被清理的沉积物处理后最终归宿一般为土地利用或填埋,其最终状态属性与土壤一致,因此其沉积物污染程度评判标准也应执行《土壤环境质量标准》(GB 15618—1995);同时由于河口沉积物组成包括多环芳烃类物质,该类物质在《海洋沉积物质量》和《土壤环境质量标准》中均未涉及,因此参考《展览会用地土壤环境质量评价标准》(HJ/T 350—2007)对沉积物污染程度进行评判。

本次河口沉积物污染调查研究将《海洋沉积物质量》《土壤环境质量标准》和《展览会用地土壤环境质量评价标准》纳入到污染程度判别体系中,对目标段河口污染程度进行全面判别。

2.2 沉积物污染程度评价方法

沉积物污染程度评价方法主要有单项环境质量指数评价法、综合污染指数评价法^[3-4]和潜在生态危害指数法^[5-6]。

单项环境质量指数评价法是目前应用最多的一种评价方法。环境质量指数是无量纲指数,表示污染物在环境中实际浓度超过评价标准的程度,环境质量指数越大表明指标的环境质量越不乐观。该方法将指数系统与环境标准进行了结合,具有简单、直观、易于换算、可比性强等优点。

综合污染指数评价法是对要素中不同的污染因子进行综合评价,用于描述环境中要素的污染现状。该方法适用于要素中存在多种污染因子的情况。

潜在生态危害指数法是通过各种生态因素的调查研究,建立生态因素与污染因子之间的效应函数关系。既考虑到单因子法得出的污染系数,又引入污染因子的影响响应系数,二者综合评价污染因子对生态环境的危害,简便、快速且较准确,还顾及背景值的地域性差异。

调查结果表明,本研究中沉积物主要污染物质为 DDT 及六六六,污染物种类较少,且该地生态环境质量已达较差水平,相关生态因素无法较明显地反映污染因子的影响情况,故本研究中采用单项环境质量指数评价法对沉积物污染程度进行评价。该方法利用环境中的污染物含量来表达沉积物的污染程度,可用式(1)表示。

$$P_i = N_i / B_i \quad (1)$$

式中: P_i 为第 i 项污染物的环境质量指数; N_i 为第 i 项污染物在环境中的浓度; B_i 为第 i 项污染物在环境中的评价标准。

初步研究发现,通过对实测浓度的比较分析,河段沉积物存在农药类、多氯联苯和重金属污染,一些位点表层底泥重金属和难降解有机物浓度较高。本次沉积物采样深度为 1.5 m,不同深度分层样品粗略显示,下层的沉积物污染程度较轻,各污染指标基本达到《展览会用地土壤环境质量评价标准》A 级的要求,即可适用于各类土地应用。

3 河口污染沉积物特征分析

结合河口污染沉积物的调查结果,并根据所提出的污染程度判别标准,分别对各判别标准下的沉积物污染情况进行分析。同时研究河口沉积物的污染状况和浓度分布,通过图表的形式直观地展示污

染沉积物的特征,以期为河口水质的改善、河口生态系统的恢复提供参考。

3.1 河口沉积物污染状况分析

结合污染程度判别依据,首先以《海洋沉积物质量》第三类限值作为参考标准值,该河口区域污染沉积物总计有 2 项超标项目,分别为六六六和 DDT。六六六只在上层(0~0.5 m 深度)超标,超标率为 5%,最高浓度是标准限值的 1.25 倍;DDT 在上层(0~0.5 m)、中层(0.5~1.0 m)和下层(1.0~1.5 m)都超标,各层样品的超标率分别为 97.5%、

92.5%、91.25%,上层最高浓度是标准限值的 15.1 倍,中层最高浓度是标准限值的 11.1 倍,下层最高浓度是标准限值的 8.84 倍,具体见表 1。当以《土壤环境质量标准》第三级限值作为参考标准值时,河口区域同样有六六六和 DDT 这 2 项超标项目。其中六六六只在上层超标,样品超标率为 60%,最高浓度是标准限值的 1.87 倍;DDT 在上层和中层均超标,超标率分别为 63.75% 和 2.5%,上层和中层最高浓度分别是标准限值的 1.51 倍和 1.11 倍,具体如表 2 所示。

表 1 河口区域超标情况(《海洋沉积物质量》)

Tab.1 Exceed standard situation of river estuary area (Marine Sediment Quality)

| 项 目 | 深度/ m | 标准限值/ (mg · kg ⁻¹) | 样品平均浓度/ (mg · kg ⁻¹) | 超标位点 个数/个 | 样品超 标率/% | 最大超 标位点 | 最大超标浓度/ (mg · kg ⁻¹) | 最大超标 倍数/倍 |
|-----|----------|-----------------------------------|-------------------------------------|--------------|-------------|------------|-------------------------------------|--------------|
| DDT | 0~0.5 | 0.1 | 1.06 | 78 | 97.50 | 13-1 上 | 1.51 | 15.1 |
| | 0.5~1.0 | | 0.58 | 74 | 92.50 | 10-3 中 | 1.11 | 11.1 |
| | 1.0~1.5 | | 0.36 | 73 | 91.25 | 18-2 下 | 0.884 | 8.84 |
| 六六六 | 0~0.5 | 1.5 | 1.08 | 4 | 5.00 | 4-1 上 | 1.87 | 1.25 |

表 2 河口区域超标情况(《土壤环境质量标准》)

Tab.2 Exceed standard situation of river estuary area (Environmental Quality Standard for Soils)

| 项 目 | 深度/ m | 标准限值/ (mg · kg ⁻¹) | 样品平均浓度/ (mg · kg ⁻¹) | 超标位点 个数/个 | 样品超 标率/% | 最大超 标位点 | 最大超标浓度/ (mg · kg ⁻¹) | 最大超标 倍数/倍 |
|-----|----------|-----------------------------------|-------------------------------------|--------------|-------------|------------|-------------------------------------|--------------|
| DDT | 0~0.5 | 1 | 1.06 | 51 | 63.75 | 13-1 上 | 1.51 | 1.51 |
| | 0.5~1.0 | | 0.58 | 2 | 2.50 | 10-3 中 | 1.11 | 1.11 |
| 六六六 | 0~0.5 | 1 | 1.08 | 48 | 60.00 | 4-1 上 | 1.87 | 1.87 |

当以《展览会用地土壤环境质量评价标准》A 级限值作为参考标准时,上层总计有 13 项超标项目,分别为砷、铬、铜、镍、DDT、六六六、六氯苯、苈、苯并(a)蒽、苯并(k)荧蒽、苯并(b)荧蒽、苯并(a)芘、二苯并(a,h)蒽,其中镍、DDT、六六六、六氯苯、

苈、苯并(a)蒽超标样品数较多,超标率都达到了 50% 以上;中层超标项目有铬、镍、DDT、苈,但是样品超标率均较小,除了镍以外都不足 5%;下层超标项目有 2 项,为镍和苯并(a)蒽,样品超标率分别为 2.50%、1.25%,具体见表 3。

表 3 河口区域超标情况(《展览会用地土壤环境质量评价标准》)

Tab.3 Exceed standard situation of river estuary area (Standard of Soil Quality Assessment for Exhibition Sites)

| 项 目 | 深度/ m | 标准限值/ (mg · kg ⁻¹) | 样品平均浓度/ (mg · kg ⁻¹) | 超标位点 个数/个 | 样品超 标率/% | 最大超 标位点 | 最大超标浓度/ (mg · kg ⁻¹) | 最大超标 倍数/倍 |
|-----|----------|-----------------------------------|-------------------------------------|--------------|-------------|------------|-------------------------------------|--------------|
| 砷 | 0~0.5 | 20 | 15.38 | 5 | 6.25 | 7-4 上 | 21.7 | 1.09 |
| 铬 | 0~0.5 | 190 | 168.33 | 5 | 6.25 | 3-3 上 | 204 | 1.07 |
| | 0.5~1.0 | | 155.85 | 1 | 1.25 | 3-3 中 | 193 | 1.02 |
| 铜 | 0~0.5 | 63 | 45.33 | 1 | 1.25 | 8-3 上 | 64.8 | 1.03 |
| 镍 | 0~0.5 | 50 | 60.66 | 69 | 86.25 | 20-2 上 | 75.5 | 1.51 |
| | 0.5~1.0 | | 48.22 | 19 | 23.75 | 1-4 中 | 70.4 | 1.41 |
| | 1.0~1.5 | | 40.83 | 2 | 2.50 | 1-2 下 | 71.7 | 1.43 |
| DDT | 0~0.5 | 1 | 1.06 | 51 | 63.75 | 13-1 上 | 1.51 | 1.51 |
| | 0.5~1.0 | | 0.58 | 2 | 2.50 | 10-3 中 | 1.11 | 1.11 |
| 六六六 | 0~0.5 | 1 | 1.08 | 48 | 60.00 | 4-1 上 | 1.87 | 1.87 |
| 六氯苯 | 0~0.5 | 0.66 | 0.65 | 45 | 56.25 | 5-1 上 | 0.871 | 1.32 |

续表 3 (Continued)

| 项 目 | 深度/ m | 限值/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) | 样品平均浓度/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) | 超标位点 个数/个 | 样品超 标率/% | 最大超 标位点 | 最大超标浓度/ ($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) | 最大超标 倍数/倍 |
|------------|----------|---|---|--------------|-------------|------------|---|--------------|
| 茈 | 0~0.5 | 210 | 238.68 | 68 | 85.00 | 3-4 上 | 336 | 1.60 |
| | 0.5~1.0 | | 146.07 | 1 | 1.25 | 5-3 中 | 231 | 1.10 |
| 苯并 (a)蒽 | 0~0.5 | 0.9 | 0.98 | 60 | 75.00 | 2-3 上 | 1.67 | 1.86 |
| | 1.0~1.5 | | 0.27 | 1 | 1.25 | 2-4 下 | 0.992 | 1.10 |
| 苯并(k)荧蒽 | 0~0.5 | 0.9 | 0.66 | 17 | 21.25 | 3-4 上 | 1.24 | 1.38 |
| 苯并(b)荧蒽 | 0~0.5 | 0.9 | 0.67 | 14 | 17.50 | 6-3 上 | 1.07 | 1.19 |
| 苯并(a)芘 | 0~0.5 | 0.3 | 0.24 | 16 | 20.00 | 3-3 上 | 0.339 | 1.13 |
| 二苯并(a,h)蒽 | 0~0.5 | 0.33 | 0.30 | 3 | 3.75 | 1-4 上 | 0.411 | 1.25 |

由以上分析可知,河口沉积物污染最严重的为 DDT,在 1.5 m 的采样深度内始终维持较高浓度水平。其他超标项目中砷、铬、铜、镍、六六六、六氯苯、茈、苯并(a)蒽、苯并(k)荧蒽、苯并(b)荧蒽、苯并(a)芘、二苯并(a,h)蒽只在 0.5 m 深度以上污染比较严重,0.5 m 以下虽然也有若干项目超标,但仅是个别位点底泥重金属和难降解有机物存在超标。

3.2 河口污染沉积物浓度分布分析

图 4 为河口区域各层 DDT 浓度及分布。可知,DDT 浓度在 1.5 m 的采样深度内始终维持较高浓度水平,上层污染尤为严重,浓度达到 1.51 mg/kg。这主要跟河口污水排放成分有关,由于周边为新兴工业区,大量工业用水排入导致 DDT 浓度较高。在取样的上、中两层中 DDT 浓度较高处分布基本相似,最高浓度均超过标准限值(1 mg/kg)。这是由于 DDT 相对分子质量较大,溶解度较低,容易被沉积物吸附,因此在上层分布较多。随着常年累积,DDT 在沉积物中逐渐扩散,因此中、下层中 DDT 浓度也维持在较高水平。这些污染沉积物堆积的区域也将成为清淤工程的重点处理对象。

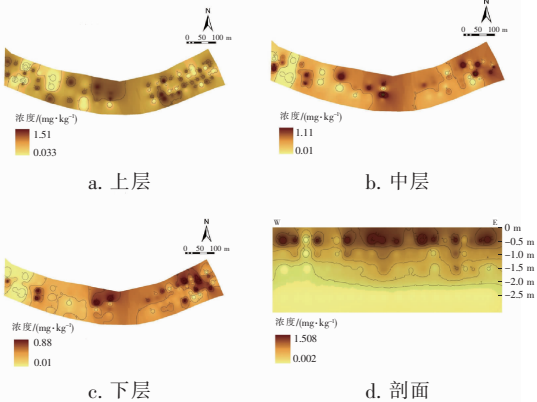


图 4 河口区域各层 DDT 浓度及分布

Fig.4 DDT concentration and distribution of different layers in estuary area

由于六六六浓度超标现象也较为严重,因此对六六六采用了相同的处理方法,图 5 为河口区域各层六六六浓度及分布。可知,六六六主要堆积在污染沉积物的上层,各层分布区域不尽相同,但上层浓度较大,超出限值近 1 倍。这主要与六六六的理化性质有关,六六六具有相对较高的蒸气压,容易从沉积物中挥发,导致在深层中分布的六六六浓度较低^[7-8]。同时其总体分布区域与 DDT 大体重合,这为清淤工程的实施提供了方便。但值得注意的是,上、中、下层的分布在某些区域与 DDT 不同,在实际工程处理时,应对清理出的污染沉积物进行区别化处理,才能将这些沉积物更好地回收利用。

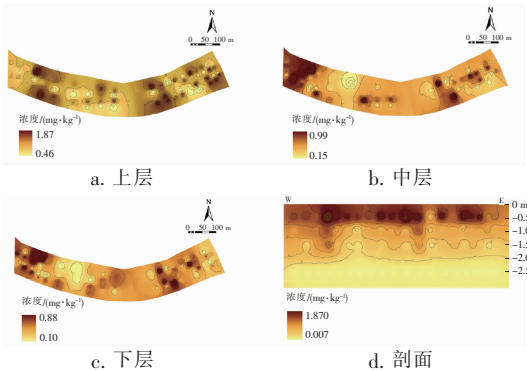


图 5 河口区域各层六六六浓度及分布

Fig.5 BHC concentration and distribution of different layers in estuary area

4 结论

为了清理某河流河口区域污染沉积物、改善河口地区生态环境、使河流污染治理工作稳步推进,对该地区污染沉积物进行多位点、多层次较为完备的取样分析。取样后,根据样本特点选取合适的分析方法。依据国家标准,确定污染状况判别依据。研究表明,河口沉积物污染最严重的项目为 DDT,在整个 1.5 m 的调查范围内均超标,且超标位点较多,

占全部测量点的60%。六六六超标现象也较为突出,水体上层尤其明显,大约有40%的测量位点超标,超标量约为限值的1.5~2倍。而其他如镍、六氯苯等污染指标只在上层存在超标现象。因此在环境治理工程实施时,需重点考虑对DDT的清理。

参考文献:

- [1] 安立会,郑丙辉,张雷,等. 渤海湾河口沉积物重金属污染及潜在生态风险评价[J]. 中国环境科学,2010,30(5):666-670.
An Lihui,Zheng Binghui,Zhang Lei, *et al.* Occurrence of heavy metals in surface sediments from estuaries in Bohai Bay and their ecological risk assessment [J]. China Environmental Science, 2010, 30 (5): 666 - 670 (in Chinese).
- [2] 于瑞莲,张伟芳,胡恭任,等. 晋江河口沉积物重金属污染历史与来源[J]. 环境科学研究,2015,28(6):907-914.
Yu Ruilian,Zhang Weifang,Hu Gongren, *et al.* Pollution history and source analysis of heavy metals in sediments from Jinjiang River estuary [J]. Research of Environmental Sciences, 2015, 28 (6): 907 - 914 (in Chinese).
- [3] 王斐,黄益宗,王小玲,等. 江西钨矿周边土壤重金属生态风险评价:不同评价方法的比较[J]. 环境化学,2015,34(2):225-233.
Wang Fei,Huang Yizong,Wang Xiaoling, *et al.* Ecological risk assessment of heavy metals in surrounding soils of tungsten ores: Comparison of different evaluation methods [J]. Environmental Chemistry, 2015, 34 (2): 225 - 233 (in Chinese).
- [4] 李礼,徐龙君,李斗. 重庆秀山锰矿区土壤重金属污染分析与评价[J]. 地球与环境,2014,43(5):646-651.
Li Li,Xu Longjun,Li Dou. Analysis and evaluation of soil heavy metal pollution in Chongqing Xiushan manganese mine-zone [J]. Earth and Environment, 2014, 43 (5): 646 - 651 (in Chinese).
- [5] 刘成,邵世光,范成新,等. 巢湖重污染汇流湾区沉积物重金属污染特征及风险评价[J]. 中国环境科学,2014,34(4):1031-1037.
Liu Cheng,Shao Shiguang,Fan Chengxin, *et al.* Pollution status and risk assessment of heavy metal in the sediment of the severe polluted confluence area of Lake Chaohu [J]. China Environmental Science,2014,34(4):1031-1037 (in Chinese).
- [6] 方志青,陈秋禹,尹德良,等. 三峡库区支流河口沉积物重金属分布特征及风险评价[J]. 环境科学,2018,39(6):2607-2614.
Fang Zhiqing, Chen Qiuyu, Yin Deliang, *et al.* Distribution characteristics and risk assessment of heavy metals in the sediments of the estuary of the tributaries in the Three Gorges Reservoir, SW China [J]. Environmental Science, 2018, 39 (6): 2607 - 2614 (in Chinese).
- [7] 潘峰,王利利,赵浩,等. 某林丹生产企业搬迁遗留场地土壤中六六六的残留特征[J]. 环境科学,2013,34(2):705-711.
Pan Feng, Wang Lili, Zhao Hao, *et al.* Residual characteristics of HCHs in soils of a former lindane production enterprise [J]. Environmental Science, 2013, 34 (2): 705 - 711 (in Chinese).
- [8] 张岩,裴国霞,邵生霞,等. 黄河内蒙古段头道拐断面沉积物中六六六(HCHs)和多氯联苯(PCBs)的残留特征分析研究[J]. 中国农村水利水电,2011(3):26-28.
Zhang Yan,Pei Guoxia,Tai Shengxia, *et al.* Investigation of HCHs and PCBs in the sediments at the Toudaoguai section of the Yellow River [J]. China Rural Water and Hydropower,2011(3):26-28 (in Chinese).



作者简介:韩正平(1980-),男,四川成都人,本科,高级工程师,主要从事环境工程方面的研究工作。

E-mail:4896406@qq.com

收稿日期:2019-11-21