

中国部分水域沉积物中多氯联苯污染物的空间分布、污染评价及影响因素分析

邢颖^{1,2}, 吕永龙^{1,2*}, 刘文彬¹, 史雅娟¹, 罗维¹, 任鸿昌^{1,3}

(1. 中国科学院生态环境研究中心, 北京 100085; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039; 3. 国家林业局调查规划设计院, 北京 100714)

摘要: 对中国水域沉积物中多氯联苯污染的空间分布、污染程度、污染来源及影响因素进行了研究, 并对沉积物中多氯联苯的污染进行了初步的风险评价。结果表明, 部分地区多氯联苯污染较严重, 东北的松花江、大连湾、河北保定地区、中部的鸭儿湖、南部的珠江流域和台湾地区沉积物中有较高的多氯联苯平均浓度, 其余地区沉积物中多氯联苯的污染水平相对较低。多氯联苯污染较严重的地区多为一些港口、工农业发达的区域、发生过泄漏的多氯联苯退役设备封存点和多氯联苯设备非法拆卸的地区, 污染特征表现为点源污染的形式。对珠江三角洲地区的研究表明, 多氯联苯污染的空间分布与当地水文地质地貌条件、社会经济发展水平、历史及管理等因素相关。水流交换畅通、水体流量大、沉积物含沙质较多、适当的管理等会减轻多氯联苯污染; 人口密集、工业发达、有历史或当前排污、航运繁忙等会导致多氯联苯污染加重。

关键词: 多氯联苯; 沉积物; 空间分布; 风险评价

中图分类号: X592 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2006)02-0228-07

Assessment of PCB Pollution in Spatial Distribution and Analysis of the PCB Sources in Sediments in China

XING Ying^{1,2}, LÜ Yong-long^{1,2}, LIU Wen-bin¹, SHI Ya-juan¹, LUO Wei¹, REN Hong-chang^{1,3}

(1. Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China; 2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China; 3. Academy of Forest Inventory and Planning, State Forestry Administration, Beijing 100714, China)

Abstract: An assessment of the current state of pollution from polychlorinated biphenyls (PCBs) and PCBs spatial character in sediments are represented. The sources of PCBs and relative factors are also analyzed. Songhua River and Dalian Bay in Northeast, Baoding in Hebei Province, Yæer Lake in Wuhan City, Pearl River and Taiwan Province in Southeast of China have relatively high level of PCBs, while most other regions have lower average concentrations of PCBs. Serious pollution of PCBs is found in some locations, most of which are harbors, industrial areas, the places where improper disposal of and leakage from PCB containers taken place. Point source pollution is the common pattern of contamination, influenced primarily by local geographic, economic, management and historical factors, with Pearl River/ Estuary as an example.

Key words: PCBs; sediment; spatial distribution; risk assessment

多氯联苯(Polychlorinated Biphenyls, PCBs)是包含 209 种同类物的一系列氯化联苯化合物组成的合成工业品, 由于其化学性质稳定, 电导率低, 导热性好, 不易燃, 在 20 世纪 70 年代前在工业生产中有过广泛的用途。但是由于其具有环境持久性、远距离迁移性和生物蓄积性等缺点, 给人体健康和生态系统造成了潜在的威胁^[1,2], 为此《关于持久性有机污染物的斯德哥尔摩公约》将 PCBs 列为首批控制消除的 12 种污染物之一。

我国 PCBs 的生产主要发生在 1965~1974 年间, 总产量估计在 10 000t 左右。其中三氯联苯产量在 9 000t 左右, 主要用于电力电容器的浸渍剂, 五氯联苯产量在 1 000t 左右, 主要用作油漆等工业产品

的添加剂^[3,4]。我国的 PCBs 还有一部分由国外输入, 一些进口变压器油中 PCBs 含量可能高达 70% 以上^[5]。目前含 PCBs 的电力电容器大部分已经废弃不用, 而被暂时性封存。由于管理不当, 储存条件不好, 很多封存点存在 PCBs 泄露现象, 严重污染了周围环境。PCBs 通过食物链进入到生物体内, 给当地生态环境和人身健康带来了极大的风险。

随着斯德哥尔摩公约于 2004-11-11 正式对中国生效, 中国需要在全国范围内逐步采取行动, 调查

收稿日期: 2005-03-02; 修订日期: 2005-05-27

基金项目: 国家自然科学基金项目(40471130)

作者简介: 邢颖(1976~), 女, 博士研究生, 主要研究方向为持久性有机污染物的管理与控制对策。

* 通讯联系人

PCBs 的污染、分布与来源,履行控制与消除 PCBs 的义务.关于 PCBs 的研究近年来有了大幅增加,Wu^[6]、陈静生^[7]和 Yuan^[8]等曾调查了我国部分河流沉积物中的 PCBs 污染,但 PCBs 污染状况的相关资料依然匮乏,目前还没有一个全国范围内的系统监测和调查,有关沉积物中 PCBs 的污染空间分布还未见报道,PCBs 的污染来源没有得到全面系统的分析,现有关于 PCBs 污染状况的研究还远不能满足研究与管理的需要.

本研究将根据文献中现有污染研究成果给出中国水域沉积物中 PCBs 污染的空间分布与初步评价,并以重点污染地区为例对 PCBs 污染来源和影响 PCBs 污染的相关因素进行分析,提出中国 PCBs 污染的概况,以此为 PCBs 的控制与消除及履行斯德哥尔摩公约提供相应的支持.

1 中国部分水域沉积物中 PCBs 污染空间分布与评价

迄今为止,对沉积物中 PCBs 的分析和监测主要针对我国东部地区一些河流、河口和沿海近岸地带,如长江口、珠江口、环渤海等地区.这些地区多为我国环境管理部门进行重点监测和控制,具有重要环境和社会意义的水系、湖泊和沿海区域.图 1 为根据文献中的调查得到的 PCBs 浓度值绘制的中国不同地区水域沉积物中 PCBs 总量的平均浓度图.

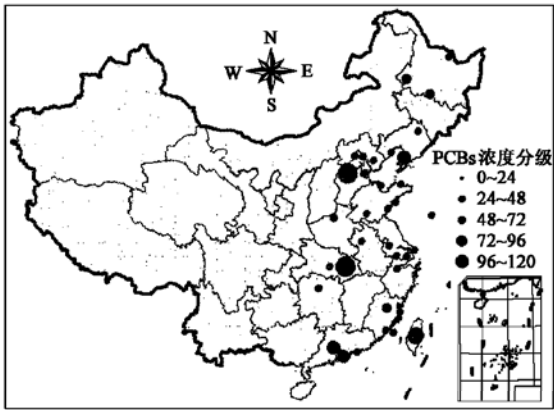


图 1 中国部分水域沉积物中 PCBs 的平均浓度(干重,单位:ng/g)
Fig. 1 Average concentration of PCBs in sediment in China
(dry weight, unit: ng/g)

加拿大环境委员会根据大量实验数据制订了沉积物环境质量标准^[9],用来为保持水生生态系统的长期稳定健康设立参考值(见表 1).污染物浓度低于 ISQG(interim sediment quality guideline)值,对暴

露的生物体的威胁尚可接受,极少引起生物负效应;污染物浓度介于 ISQG 和 PEL(probable effect level)之间,对暴露的生物体有潜在威胁,会偶尔引起生物负效应;污染物浓度高于 PEL,对暴露的生物体有严重的或紧急的威胁,会经常引起生物负效应.鉴于我国还没有沉积物中 PCBs 的环境标准,本文将根据这一标准对我国部分水域沉积物中的 PCBs 污染风险进行评价.

表 1 加拿大沉积物 PCBs 质量标准(干重)/ng·g⁻¹
Table 1 Canadian sediment quality guidelines
for PCBs (dry weight)/ng·g⁻¹

淡水沉积物		海洋与河口沉积物	
ISQG	PEL	ISQG	PEL
34.1	277	21.5	189

1.1 河流沉积物中 PCBs 空间分布与评价

中国部分地区河流沉积物中 PCBs 的平均浓度和浓度范围列在表 2 中,包括东北、华北、华中和华南 4 大地区,中西部地区的调查和记录缺乏.

表 2 各地区河流沉积物中 PCBs 浓度水平(干重)/ng·g⁻¹
Table 2 PCBs level in sediment of different rivers(dry weight)/ng·g⁻¹

地点	平均浓度	浓度范围	参考文献
东北地区			
黑龙江	21		[7]
嫩江	25		[7]
松花江	36.8	0.62~337	[7, 10, 11]
大辽河	2.3	1.9~2.7	[6]
华北地区			
滦河	1.4		[6]
海河	3.2	2.9~3.5	[6]
永定河-官厅水库	5.1	0.81~9.72	[12]
通惠河	3.29	0.78~8.47	[13]
黄河	17		[7]
淮河	10.2	6.34~16	[7, 14]
华中地区			
长江	13	5~20	[7, 15]
钱塘江	16.9	12.8~21	[6, 7]
黄浦江	19.9		[6]
汉水	18.5		[7]
华南地区			
闽江	25		[7]
珠江	62.3	12.5~485.5	[7, 16~18]

从表 2 中数据可知,松花江 PCBs 平均水平超过了淡水沉积物 ISQG 参考值(34.1 ng/g),第二松花江上某污水处理厂排污口 PCBs 高达 337 ng/g^[11],超过淡水沉积物 PEL 参考值(277 ng/g)很多,表明东北水系部分地区 PCBs 污染十分严重.珠江水系包括各个支流平均浓度很高,最高达 485.5 ng/g^[16],远超过 PEL 值,还有多个采样点浓度超过 ISQG 值,表明珠江流域污染严重.整体上华北地区

河流沉积物 PCBs 浓度不高,均未超过 ISQG 值,黄河和长江水系 PCBs 浓度相对稍高,但也不严重,仅有较轻程度生物风险,闽江略低于 ISQG 值,风险较低。

1.2 河口沉积物中 PCBs 空间分布与评价

我国的河口地区多为经济和工业比较发达的地区,潜在的 PCBs 来源较多。中国的几个主要河口都已有一定程度的调查,结果列于表 3 中。

表 3 河口沉积物中 PCBs 浓度水平(干重)/ng·g⁻¹

Table 3 PCBs level in sediment of estuaries (dry weight)/ng·g⁻¹

地点	平均浓度	浓度范围	参考文献
黄河口	1.3	0.7~2.4	[6]
长江口	9.3	3.0~28.6	[6, 19~22]
闽江口	19.18	4.7~57.9	[23~25]
九龙江口	6.18	0.01~72.7	[6, 8, 23, 26~28]
珠江口	52.2	0.1~461	[8, 16, 26, 29~34]

长江口、闽江口、九龙江口都有采样点的 PCBs 浓度超过了海洋与河口沉积物的 ISQG 值(21.5 ng/g),其中位于九龙江口的厦门西港有 2 个采样点^[23, 27](72.7 ng/g, 33.7 ng/g),闽江口的一个采样点^[25](57.9 ng/g)浓度超过 ISQG 值很多,说明这些地方的风险不容忽视。珠江口包括珠江河口和香港、澳门地区的浓度远超过海洋与河口沉积物的 PEL 值(189ng/g),最高在香港新界地区达 491 ng/g^[32],澳门内港达 339 ng/g^[16],维多利亚港也有数个采样点超过 ISQG 值^[26, 31, 33],表明这些地区有严重的 PCBs 污染。

1.3 海域沉积物中多氯联苯空间分布与评价

东部沿海海湾,近岸海域的一些地区沉积物中 PCBs 浓度水平列于表 4 中。

表 4 海域沉积物中 PCBs 浓度水平(干重)/ng·g⁻¹

Table 4 PCBs level in sediment of bays and ocean areas (dry weight)/ng·g⁻¹

地点	平均浓度	浓度范围	参考文献
大连湾	58.1	0.5~153.1	[35, 36]
锦州湾	5.84	0.6~32.6	[35]
烟台近海	0.35		[37]
日照近海	0.27		[37]
青岛近海	4.86	0.65~32.9	[38]
厦门岛近海	0.05	0.03~0.08	[39]
大亚湾	8.83	0.85~27.4	[40]
黄海某区域	0.92		[41]
东海某区域	0.81		[41]

在调查的海湾地区,锦州湾、青岛近海、大亚湾

PCBs 浓度最高值皆超过了海洋与河口沉积物的 ISQG 值(21.5 ng/g),这些地区的个别采样点有一定的污染,大连湾 PCBs 水平超过这一参考值较多,表明有较严重的污染。

1.4 湖泊沉积物中 PCBs 空间分布与评价

湖泊作为河流的缓冲蓄水区,容易积累形成 PCBs 污染区。调查的湖泊结果显示,山东南四湖 PCBs 平均浓度为 0.63 ng/g^[37];湖北武汉鸭儿湖平均浓度为 1 503 ng/g,最高值 5 970 ng/g^[42];洞庭湖平均浓度约为 22.5 ng/g^[7];太湖平均浓度为 2.51 ng/g^[43]。可见,鸭儿湖有极其严重的 PCBs 污染,洞庭湖浓度低于 ISQG 值,有较轻的污染。

1.5 其它地区沉积物中 PCBs 空间分布与评价

其它地区多是一些潜在的 PCBs 热点地区或发生过 PCBs 污染的地区。保定 PCBs 平均浓度为 271 ng/g,浓度范围是 31.1~510.9 ng/g^[4],台湾省平均浓度为 230 ng/g^[44],这些地区的 PCBs 水平都接近或超过淡水沉积物 PEL 参考值(277 ng/g)。

还有很多地区有较高的 PCBs 浓度值,如东南沿海一个地区因含 PCBs 的废旧设备非法拆卸,非法倾倒 PCBs 液体导致污染区沉积物浓度高达 691 ng/g^[45]。国家环保总局的一项报告^[4]曾提出某报废 PCBs 设备封存点山下河流底泥浓度高达 349.8 ng/g,而某报废 PCBs 设备封存点由于封存条件不好或封存不当导致 PCBs 泄漏,周围河道底泥浓度竟高达 1.16×10^5 ng/g~ 1.83×10^5 ng/g。

以上结果表明,全国范围内,PCBs 水平没有表现出明显的南北地域差异,局部地区多呈点源污染的模式。PCBs 的平均浓度由北至南以东北的大连湾,河北保定地区,湖北武汉鸭儿湖,南部的珠江流域和台湾地区有较高的数值,污染严重,其余地区沉积物中 PCBs 的平均浓度相对较低。在一些重要工业区和港口地区的个别采样点能检测出很高浓度的 PCBs。此外,一些相关报道指出有很多地区有极其严重的 PCBs 污染,包括曾经发生 PCBs 非法处置倾倒的地区,条件不好的 PCBs 废旧设备封存点。虽然这些地区并没有确切的被指名,但根据已有的一些数据和目前我国 PCBs 的管理情况分析,可能有很多类似地区存在极大的 PCBs 泄漏和污染风险。

2 中国部分水域沉积物中 PCBs 污染的主要来源与相关因素分析

2.1 沉积物中 PCBs 污染的主要来源

20 世纪 70 年代以前,PCBs 进入环境大气、土

壤、水体和沉积物的方式主要来自 PCBs 的生产和使用^[46]。70 年代以后至今,工业排污、航运、PCBs 废旧设施非法处置或封存不当等几大原因导致了 PCBs 在沉积物中的污染。

由于工业排污导致污染的例子有鸭儿湖、保定、第二松花江上某排污口采样点等。武汉鸭儿湖在 20 世纪 60 年代至 80 年代受到周边一个大型化工厂持续不断的污水排放的污染^[42],而保定地区的采样点位于数个工业排污口附近。PCBs 作为一种工业副产品,可产生于多种工业过程中,在未加特别控制的情况下,极有可能随着工业的发展,伴随其他污染物的排放而共同对环境造成危害。

由于港口航运导致污染的例子有澳门内港、广州河段的芳村码头、大连湾等。港口区水域常见污染物一般产生于船舶停靠、货物装卸、中转、船舶维修、清洗等作业过程中^[47],主要有生活污水、固体废弃物、包括润滑油及燃油等多种油性污染物、有毒液体或化学试剂等^[48]。很多污染物中有不同含量的 PCBs,这些污染物质的排放大大增加了 PCBs 释放入环境的几率。由于港口总是建在水陆交界的海岸或河口,而这些地区却往往是环境敏感区,PCBs 的环境风险不容忽视。

由 PCBs 的非法处置、倾倒导致污染的例子也很多,东南沿海某地区因故意拆卸含 PCBs 的变压器和电容器导致 PCBs 外泄,造成 PCBs 严重污染^[49]。香港西北部地区^[34]发生过 PCBs 的随意倾倒事件,荆治严^[50]报道了中国东北重工业城市沈阳市含 PCBs 报废设备由于人为或自身的破损使 PCBs 呈开放型流入环境而造成严重的污染。

PCBs 封存点条件不好或封存不当可导致 PCBs 泄漏,从而产生极其严重的污染,如前面提到的一些 PCBs 封存点周围河道底泥受到严重污染的情况。毕军^[51]曾报道过沈阳市含 PCBs 设备及废渣存放场因 PCBs 泄漏而导致局部土壤、大气、地面水及地下水的污染。中国从 20 世纪 80 年代以来,大量的含 PCBs 设备逐渐到达使用年限而退出使用,其中多数暂存起来以待最终处理,但仍有一部分没有得到有效管理,而我国由于缺少相关的法律规章和有效管理,各个地区的封存条件随技术和经济条件不同而有相当大的差异,一些封存点条件简单原始,不能满足封存需要,甚至没有基本的防渗漏措施,因此报废的含 PCBs 的电容器的储存点泄漏是当前中国环境中 PCBs 的一个主要潜在风险来源。

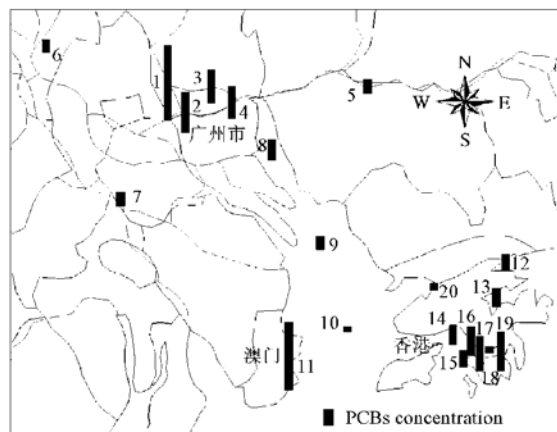
总体来讲,作为可产生于各种低温热过程的工

业副产品,PCBs 在我国较大范围一直在产生并向周围环境排放。这种状况在中国中西部工业落后地区、东部发达地区的落后地带、技术先进地区的部分技术落后和工艺落后的部门普遍存在。同时作为已退出使用的工业产品,在历史上应用电力设备较多的重工业部门如电力、机械、冶金、能源矿产等部门在设备淘汰、保存、运输与处置等环节都会因为管理不当、措施不力而导致较高的 PCBs 污染环境风险。

2.2 沉积物中 PCBs 污染的相关因素分析

PCBs 污染的程度与当地水文地质地貌条件、社会经济发展水平、历史和管理等因素相关。具体地说,影响 PCBs 污染的因素主要有水流交换畅通情况、水体水量大小、沉积物颗粒性状、人口密集程度、土地利用类型(是工业区还是非工业区)、排污出口的设置、航运繁忙程度、历史排放状况、法规是否健全和管理是否严格等。

珠江三角洲是已有调查较充分的地区,关于珠江及其支流、河口区,香港近岸水域沉积物的调查已有相当一些报道。这一区域 PCBs 污染与人类活动密切相关,各样点 PCBs 浓度受当地多种因素的综合影响,如图 2 和表 5 所示。



1. 芳村码头 2. 纸厂 3. 员村 4. 黄埔 5. 东江 6. 北江 7. 西江 8. 狮子洋 9. 伶仃洋 10. 河口 11. 澳门内港 12. 沙头角 13. 吐露港 14. 青衣 15. 香港大学西 16. 中港码头 17. 维多利亚港 18. 尖沙咀 19. 观塘 20. 米埔湿地自然保护区

图 2 珠江及河口地区 PCBs 在沉积物中的浓度分布(干重)/ng·g⁻¹

Fig. 2 PCBs concentration in sediment at Pearl River and estuary (dry weight)/ng·g⁻¹

河流城市区段由于流经城市,有众多的污染源,PCBs 浓度较高,如珠江干流广州河段纸厂、员村、黄埔。珠江支流西江、东江、北江由于远离工业发达的广州市,分别有较低的 PCBs 浓度。工业区 PCBs 浓

度通常较高,如观塘.老工业区如纸厂、员村、黄浦等沉积物中 PCBs 含量高于新工业区.港口、码头及繁忙的航道由于航运而带来严重的 PCBs 污染,如澳门内港、芳村码头、中港码头、香港大学西和沙头角地区.排污口的设置导致较高的 PCBs 污染,如维多利亚港、中港码头、吐露港等都分别设有若干排污口.而遍布香港的 10 个红树林采样点、米埔湿地保护区 PCBs 平均浓度都很低,表明了人类活动干扰少,一定程度的管理和保护可有效避免 PCBs 污染.

表 5 珠江及河口地区 PCBs 在沉积物中的浓度水平(干重)/ $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$
Table 5 PCBs concentration in sediment at Pearl River
and estuary (dry weight)/ $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$

地点	PCBs 浓度	当地状况	参考文献
纸厂	51.4	城市区段、老工业区	[17]
员村	40.6	城市区段、老工业区	[17]
黄浦	39.7	城市区段、老工业区	[17]
观塘	48.7	工业区,周边是密集的居住区	[31]
西江	13.2	远离城市	[16]
东江	14	远离城市	[18]
北江	12.5	远离城市	[7]
狮子洋	22.2	远离城市,水流量大	[16]
伶仃洋	11.5	远离城市,水流量大	[16]
河口区	1.6	水流量大	[8, 29]
澳门内港	339	港口	[16]
芳村码头	485.5	港口	[16]
中港码头	34.4	港口,设有排污口	[31]
香港大学西	17.2	港口	[31]
沙头角	16.8	港口,香港东北部,跨界输入	[31]
尖沙咀	3.72	水流量大,沉积物沙质	[31]
吐露港	20.2	港口,设有排污口,半封闭港	[31]
维多利亚港	81	港口,设有排污口,避风塘	[26, 31]
维多利亚港	8.6	港口,开阔水域	[26]
红树林区	3.86	自然保护区	[34]
米埔湿地保护区	2.9	自然保护区	[30]
香港周边海域	7.1	开阔水域	[33]
青衣	21.1	香港西部,跨界输入	[31]

从地理因素考虑,距污染源距离越近,PCBs 浓度越高,如广州河段 PCBs 水平高于其下游狮子洋、伶仃洋.水域开阔,水流量大,可导致 PCBs 浓度的明显降低,如狮子洋、伶仃洋到河口区水域逐渐开阔,而 PCBs 水平逐渐下降,河口区平均浓度只有 1.6 ng/g .尖沙咀虽然有繁忙的航运,但水流量大,水利交换强,沉积物含沙多(PCBs 附着到颗粒物表面,没有沉降到沉积物内,或不易在该处持久存留),导致有较低的 PCBs 浓度.维多利亚港 PCBs 平均浓

度为 42 ng/g ,在避风塘水流不畅,最高浓度达 81 ng/g ,而在水域开阔的采样点,平均浓度很低,香港周边海域 PCBs 由于水域开阔也有较低的 PCBs 平均浓度.吐露港是个半封闭港,也因水流交换差导致 PCBs 的累积而浓度水平升高.污染的跨界输入可导致高的 PCBs 浓度,如香港西部青衣有可能来自西部珠江口和深圳特区的污染传输,香港东北部的沙头角地区也有污染的跨界输入.

3 结论

(1) 我国多数地区水体沉积物中 PCBs 的平均浓度较低,主要原因在于 PCBs 在中国生产的数量相对较少,生产使用的时间相对较短.空间分布上,在已调查的主要河流河口地区,东北的松花江流域、大连湾、河北保定地区、中部的湖北武汉鸭儿湖、南部的珠江流域和台湾地区有较高的 PCBs 平均浓度,污染相对较重,其余地区沉积物中 PCBs 的平均浓度相对较低.个别采样点 PCBs 的浓度较高,局部地区存在严重的点源污染,包括一些港口、工业发达区域、PCBs 的非法处置倾倒地区、发生泄漏的 PCBs 废旧设备封存点等.

(2) 当前中国沉积物中 PCBs 严重污染的主要来源是工业排污、航运、PCBs 废旧设施非法处置或封存不当等几大原因.PCBs 污染的程度受当地水文地质地貌条件、社会经济发展水平、历史及管理等因素综合影响.水流交换畅通、水体流量大、沉积物含沙质较多,不利 PCBs 积累;人口密集、工业发达、历史或当前排污量大、航运繁忙等会导致 PCBs 污染加重.导致 PCBs 排入环境的因素广泛存在,因此应加强相关的研究与管理,调整相关的产业政策,取缔落后的污染环境的工艺技术,制定相应的法规与标准,规范 PCBs 的封存、运输和处置,引入适当的经济和政策机制,减少 PCBs 污染环境风险.

参考文献:

- [1] Tyler C R, Jobling S, Sumpter J P. Endocrine disruption in wildlife: a critical review of the evidence[J]. *Critical Reviews in Toxicology*, 1998, **28**: 319~ 361.
- [2] Vallack H W, Bakker D J, Brandt I, *et al.* Controlling persistent organic pollutants—what next? [J]. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 1998, **6**: 143~ 175.
- [3] 金重阳, 杨国兴, 彭万寿. 多氯联苯(PCB)的污染及无害化处理[J]. *环境保护科学*, 1990, **16**(3): 31~ 35.
- [4] China SEPA. Building the Capacity of the People's Republic of China to Implement the Stockholm Convention on POPs and Develop a National Implementation Plan [R]. GEF Project Brief (GF/CPR/02/010), <http://www.gefweb.org>, 2003, 23~ 48.

- [5] 李灵军, 吴季茂, 陈宇东, 等. 变压器油中多氯联苯的测定 [J]. 环境科学, 1993, **14**(3): 69~ 72.
- [6] Wu Y, Zhang J, Zhou Q. Persistent organochlorine residues in sediments from Chinese river/estuary systems [J]. Environmental Pollution, 1999, **105**: 143~ 150.
- [7] 陈静生, 高学民, Qi M, Jessica B. 我国东部河流沉积物中的多氯联苯 [J]. 环境科学学报, 1999, **19**(6): 614~ 618.
- [8] Yuan D X, Yang D N, Wade T L, *et al.* Status of persistent organic pollutants in the sediment from several estuaries in China [J]. Environmental Pollution, 2001, **114**: 101~ 111.
- [9] Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life [S]. Ottawa, Ontario, Canada: National Guidelines and Standards Office, Environment Canada, <http://www.ec.gc.ca>, 2003, 8~ 10.
- [10] 李敏学, 岳贵春, 高福民, 等. 第二松花江中 PCBs 与有机氯农药的迁移和分布 [J]. 环境化学, 1989, **8**(2): 49~ 54.
- [11] 刘季昂, 王文华, 王子健. 第二松花江水体沉积物中难降解污染物的种类和含量 [J]. 中国环境科学, 1998, **18**(6): 518~ 520.
- [12] 马梅, 王子健, Anders S. 官厅水库和永定河沉积物中多氯联苯和有机氯农药的污染 [J]. 环境化学, 2001, **20**(3): 238~ 243.
- [13] Zhang Z L, Huang J, Yu G, *et al.* Occurrence of PAHs, PCBs and organochlorine pesticides in the Tonghui River of Beijing, China [J]. Environmental Pollution, 2004, **130**(2): 249~ 261.
- [14] 王子健, 王毅, 马梅. 淮河信阳和淮南段沉积物中 PCBs 的生态风险评估 [J]. 中国环境科学, 2001, **21**(3): 262~ 265.
- [15] 蒋新, 许士奋, Martens D, 等. 长江南京段水, 悬浮物及沉积物中多氯有毒有机污染物 [J]. 中国环境科学, 2000, **20**(3): 193~ 197.
- [16] 康跃惠, 盛国英, 傅家谟, 等. 珠江三角洲一些表层沉积物中多氯联苯的初步研究 [J]. 环境化学, 2000, **19**(3): 262~ 269.
- [17] 聂湘平, 蓝崇钰, 栾天罡, 等. 珠江广州段水体、沉积物和底栖生物中的多氯联苯 [J]. 中国环境科学, 2001, **21**(5): 417~ 421.
- [18] Ho K C, Hui K C C. Chemical contamination of the East River (Dongjiang) and its implication on sustainable development in the Pearl River Delta [J]. Environment International, 2001, **26**: 303~ 308.
- [19] 杨毅, 刘敏, 侯立军. 长江口潮滩含氯有机物的分布与 TOC 粒度的相关性 [J]. 上海环境科学, 2002, **21**(9): 530~ 532, 553.
- [20] Liu M, Yang Y, Hou L, *et al.* Chlorinated organic contaminants in surface sediments from the Yangtze Estuary and nearby coastal areas, China [J]. Baseline/Marine Pollution Bulletin, 2003, **46**: 659~ 676.
- [21] 杨毅, 刘敏, 许世远, 等. 长江口潮滩表层沉积物中 PCBs 和 OCPs 的分布 [J]. 中国环境科学, 2003, **23**(2): 215~ 219.
- [22] 陈满荣, 俞立中, 许世远, 等. 长江口潮滩沉积物中 PCBs 及其空间分布 [J]. 海洋环境科学, 2003, **22**(2): 20~ 23.
- [23] 袁东星, 杨东宁, 陈猛, 等. 厦门西港及闽江口表层沉积物中多环芳烃和有机氯污染物的含量及分布 [J]. 环境科学学报, 2001, **21**(1): 107~ 112.
- [24] 张祖麟, 洪华生, 余刚. 闽江口持久性有机污染物——多氯联苯的研究 [J]. 环境科学学报, 2002, **22**(6): 788~ 791.
- [25] Zhang Z L, Hong H S, Zhou J L, *et al.* Fate and assessment of persistent organic pollutants in water and sediment from Minjiang River Estuary, Southeast China [J]. Chemosphere, 2003, **52**: 1423~ 1430.
- [26] Hong H, Xu L, Zhang L, *et al.* Environmental fate and chemistry of organic pollutants in the sediment of Xiamen and Victoria Harbours [J]. Marine Pollution Bulletin, 1995, **31**: 229~ 236.
- [27] 陈伟琪, 张珞平, 王新红, 等. 厦门港湾沉积物中有机氯农药和多氯联苯的垂直分布特征 [J]. 海洋科学, 1996, **2**: 56~ 60.
- [28] Zhou J L, Hong H, Zhang Z, *et al.* Multi-phase distribution of organic micropollutants in Xiamen Harbour, China [J]. Water Research, 2000, **34**(7): 2132~ 2150.
- [29] Hong H S, Chen W Q, Xu L, *et al.* Distribution and fate of organochlorine pollutants in the Pearl River Estuary [J]. Marine Pollution Bulletin, 1999, **39**: 376~ 382.
- [30] Liang Y, Wong M H, Shutes R B E, *et al.* Ecological Risk Assessment of Polychlorinated Biphenyl Contamination in the Mai Po Marshes Nature Reserve, Hong Kong [J]. Water Research, 1999, **33**(6): 1337~ 1346.
- [31] Richardson B J, Zheng G J. Chlorinated hydrocarbon contaminations in Hong Kong surficial sediments [J]. Chemosphere, 1999, **39**(6): 913~ 923.
- [32] Zhou H Y, Cheung R Y H, Wong M H. Residues of Organochlorines in Sediments and Tilapia Collected from Inland Water Systems of Hong Kong [J]. Archives of Environmental Contamination and Toxicology, 1999, **36**: 424~ 431.
- [33] Wong C K C, Yeung H Y, Cheung R Y H, *et al.* Ecotoxicological Assessment of Persistent Organic and Heavy Metal Contamination in Hong Kong Coastal Sediment [J]. Archives of Environmental Contamination and Toxicology, 2000, **38**: 486~ 493.
- [34] Tam N F Y, Yao M W Y. Concentrations of PCBs in coastal mangrove sediments of Hong Kong [J]. Marine Pollution Bulletin, 2002, **44**: 642~ 651.
- [35] 李洪, 付宇众, 周传光, 等. 大连湾和锦州湾表层沉积物中有机氯农药和多氯联苯的分布特征 [J]. 海洋环境科学, 1998, **17**(2): 73~ 76.
- [36] 刘现明, 徐学仁, 张笑天, 等. 大连湾沉积物中的有机氯农药和多氯联苯 [J]. 海洋环境科学, 2001, **20**(4): 40~ 44.
- [37] 杨永亮, 潘静, 李红莉, 等. 烟台、日照近海及南四湖沉积物中的多氯联苯 [J]. 矿物岩石地球化学通报, 2003, **22**(2): 108~ 113.
- [38] 杨永亮, 潘静, 李悦, 等. 青岛近海沉积物 PCBs 的水平与垂直分布及贝类污染 [J]. 中国环境科学, 2003, **23**(5): 515~ 520.

- [39] 陈伟琪, 张珞平, 徐立, 等. 厦门—金门海域表层沉积物中 HCHs DDTs 和 PCBs 的含量与分布[J]. 厦门大学学报(自然科学版), 1996, **35**(6): 936~ 940.
- [40] Zhou J L, Maskaoui K, Qiu Y W, *et al.* Polychlorinated biphenyl congeners and organochlorine insecticides in the water column and sediments of Daya Bay, China[J]. Environmental Pollution, 2001, **113**: 373~ 384.
- [41] Tanabe S, Yasuhara Y, Tatsukawa R. Persistent organochlorines in the East China Sea—Their distribution, behavior and fate inherent in marginal sea[A]. In: Chan M W H, Hoare R W M, Holmes P R, *et al.* Pollution in the Urban Environment [C]. London: Elsevier Applied Science Publishers, 1985. POLMET **85**: 670~ 678.
- [42] Wu W Z, Schramm K W, Henkelmann B, *et al.* PCDD/Fs, PCBs, HCHs, and HCB in sediments and soils of YæEr Lake area in China: results on residual levels and correlation to the organic carbon and the particle size[J]. Chemosphere, 1997, **34**(1): 191~ 202.
- [43] 袁旭音, 王禹, 孙成, 等. 太湖底泥中多氯联苯的特征与环境效应[J]. 长江流域资源与环境, 2004, **13**(3): 272~ 276.
- [44] Iwata H, Tanabe S, Skakai N, *et al.* Geographical distributions of persistent organochlorines in air, water and sediments from Asia and Oceania and their implications for global redistribution from lower latitudes[J]. Environmental Pollution, 1994, **85**: 15~ 33.
- [45] 储少岗, 杨春, 徐晓白, 等. 典型污染地区底泥和土壤中残留多氯联苯(PCBs)的情况调查[J]. 中国环境科学, 1995, **15**(3): 199~ 203.
- [46] Wong M H, Poon B H T. Sources, fates and effects of persistent organic pollutants in China, with emphasis on the Pearl River Delta [A]. In: Fiedler H. The handbook of environmental chemistry Vol. 3, Part O Persistent Organic Pollutants[C]. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2003. 355 ~ 369.
- [47] 郑雯君. 沿海港口水域污染及其治理对策[J]. 上海环境科学, 1994, **13**(4): 1~ 3.
- [48] 周甫宾, 袁群. 长江航运污染事故经济损失评估模型探讨[J]. 中国航海, 2004, **59**(2): 66~ 70.
- [49] Bi X H, Chu S G, Meng Q Y, *et al.* Movement and retention of polychlorinated biphenyls in a paddy field of WenTai area in China[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 2002, **89**: 241~ 252.
- [50] 荆治严, 李艳红, 冯小宾, 等. 沈阳市多氯联苯流失、污染及防治对策的研究[J]. 环境科学丛刊, 1992, **13**(5): 1~ 28.
- [51] 毕军, 王华东, 陈建智, 等. 沈阳市 PCBs 污染的风险评价[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 1993, **29**(4): 551~ 556.