

· 调查与评价 ·

长江南京段近岸沉积物和土壤中重金属分布特征分析

马宏瑞^{1,2}, 任静华¹, 季峻峰², 吴昀昭²

(1. 陕西科技大学资源与环境学院, 陕西 西安 710021; 2 南京大学地科系, 江苏 南京 210093)

摘要:通过测定沉积物和土壤中 Cd、Pb、Cr、Zn、Cu、Ni 6 种重金属元素的平均含量, 计算其富集因子, 分析长江南京段近岸沉积物和土壤中重金属的空间分布特征, 结果表明, 几种重金属在沉积物中的富集次序为: Cd > Pb > Cr > I > Ni > Cu > Zn, 在土壤中为: Cd > Zn > Cu > I > Cr > Pb > Ni, 除 Zn 和 Cu 外, 其他几种金属在沉积物中的富集程度高于土壤, 同时 Cd 的含量超过土壤环境质量三级标准。以 Cd 和 Pb 为例分析了重金属含量与沉积物粒径之间的关系, 回归分析显示, Cd、Pb 的含量与颗粒物的粒径呈显著的相关性, 与细颗粒物的含量有密切关系, 细颗粒携带的重金属, 在长江水力分选作用下到达下游, 成为沉积物中重金属的主要来源。

关键词:重金属; 近岸沉积物; 土壤; 富集; 颗粒物粒径; 长江

中图分类号: X823 文献标识码: B 文章编号: 1006-2009(2010)02-0032-05

Distribution and Enrichment of Heavy Metal in Sediments and Soils in Nanjing Section of the Yangtze River

MA Hong-ru^{1,2}, REN Jing-hua¹, JI Jun-feng², WU Yun-zhao²

(1. College of Resource and Environment, Shanxi University of Science & Technology, Xian, Shanxi 710021, China; 2 Department of Earth Sciences, Nanjing University, Nanjing, Jiangsu 210093, China)

Abstract: The sediments and soils of Yangtze River were analyzed for the contents and enrichment factors of six heavy metals Cd, Pb, Cr, Zn, Cu and Ni in order to know their distribution characters. The sequence of EFs was Cd > Pb > Cr > I > Ni > Cu > Zn in the sediments, however, Cd > Zn > Cu > I > Cr > Pb > Ni in the soils. The enrichment of other metals in the sediments was higher than soils except Zn and Cu. The concentration of Cd had exceeded the third level of soil environmental quality standards. Taking Cd and Pb as an example analyzed the relationship between content of heavy metal and grain size. Regression analysis indicated a significant correlation. Heavy metals and fine particles showed a close relationship. So the heavy metals carried by fine particulate matter were important source of them in sediments by sorting of Yangtze River.

Key words: Heavy metal; Near-shore sediment; Soil; Enrichment; Particle grain size; Yangtze River

沉积物是水环境的基本组成部分, 研究表明, 进入水体中的大部分重金属与悬浮物及沉积物结合, 在水流缓慢时, 悬浮物逐步沉积下来, 形成近岸沉积物^[1], 使其成为重金属的主要富集地^[2-4], 当外界环境条件发生改变时, 其中的重金属释放出来, 造成二次污染^[5]。近岸沉积物作为现代河流沉积相, 可以反映近期污染物输入情况。该文章以地处南京城郊的八卦洲为研究区, 测定该地区近岸沉积物和土壤中重金属的平均含量, 分析其空间分布, 测定颗粒物的粒度, 分析其与重金属含量的关

系, 探讨重金属的迁移规律, 为寻求长江流域的污染源, 采取污染防治措施提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 样品采集和制备

表层样品: 在八卦洲的左右两汉分别采集表层

收稿日期: 2009-04-08; 修订日期: 2009-12-18

基金项目: 江苏省国土生态地球化学调查项目 (EG004)

作者简介: 马宏瑞 (1963—), 男, 陕西西安人, 教授, 博士, 从事污染物环境安全与修复技术教学研究工作。

0 cm ~ 10 cm 近岸沉积物样品,同时采集洲体表层 0 cm ~ 10 cm 的土壤样品,去除植物残体、瓦砾及较大的砾石,装入聚乙烯自封袋中,密封后带回实验室,于烘箱内 40 ℃ 烘干,经玛瑙研钵研磨后过 2 mm 尼龙筛网,贮于样品瓶中备用。

剖面样品:在大厂区对岸选择一个典型沉积物剖面,同时在其附近地区采集土壤样品,均是每隔 5 cm 采样,样品如上方式处理后备用。

1.2 预处理及分析方法

土壤和沉积物样品分析:将制备的样品于聚四氟乙烯坩埚中,按照《土壤环境监测技术规范》^[6] 中的方法进行预处理,直至样品无色。经 HNO₃ 酸化和定容以后,Al、Pb、Ni、Cr、Cu、Zn 用 ICP-AES 测定,Cd 用 ICP-MS 测定。

沉积物粒径分析:取约 1.5 g 样品加入到 1 000 mL 烧杯中,加入 10 mL 体积分数为 10% 的 H₂O₂ 并加热 15 min 使其充分反应,去除有机物,清洗烧杯内壁后加入 5 mL HCl 并煮沸,注水后静置 24 h,去水,加入 Na₂P₂O₇ · 10H₂O 煮沸 1 min,冷却后测定。测定仪器采用德国 Analysette 22 激光粒度分析仪,测量范围为 0.1 μm ~ 1 250 μm。

质量控制:实验中所使用的蒸馏水均为高纯

水,所用的实验器皿均在 10% 的硝酸溶液中浸泡 24 h 以上,使用前用高纯水冲洗干净,同时用平行样和国家标准物质 GBW 07309 和 GBW 07403 分别控制样品分析的精确度和准确度,标准物质分析结果与实际值相吻合,样品平行误差均小于 10%。

富集因子计算公式:根据 Gonzalez 等、Woitke 等对沉积物富集因子 (Enrichment factors, EF) 的定义,分别对沉积物中不同元素的 EF 值进行了计算,其计算式如下:

$$EF = ([X_i] / [X_0]) / ([A_i] / [A_b])$$

式中: [X_i], [A_i] 分别为不同采样点中重金属 X 和 A 的含量; [X₀], [A_b] 分别为 X 和 A 在该区域的背景值。

2 结果与讨论

2.1 长江南京段近岸沉积物和土壤中重金属的含量

根据八卦洲沉积物多次采样测定结果,分别将 Cd、Pb、Ni、Cr、Cu 和 Zn 几种重金属元素在沉积物和土壤中的平均含量及 EF 值列于表 1 中,同时也列出了长江流域沿江沉积物的平均值及该地区的土壤背景值。表中 EF 值无量纲。

表 1 八卦洲沉积物和土壤中主要金属元素的平均含量及富集因子

mg/kg

Table 1 Means of metal concentrations and enrichment factors in the sediments and soils around Baguazhou Island mg/kg

元素	沉积物					土壤		
	右汊平均值	左汊平均值	流域平均值	右汊 EF 值	左汊 EF 值	平均值	背景值	EF 值
Al	6.79 ± 1.04	6.60 ± 0.840	6.58			8.22 ± 0.78	7.54	
Cd	0.670 ± 0.370	0.650 ± 0.250	0.445	1.46	1.46	0.35 ± 0.04	0.20	1.39
Ni	44.1 ± 9.41	42.3 ± 8.4	43.3	0.99	0.98	39.6 ± 5.44	36.1	0.63
Pb	37.2 ± 16.1	36.2 ± 14.9	26.9	1.34	1.34	34.7 ± 3.59	31.3	0.89
Cr	90.0 ± 12.3	87.8 ± 12.8	84.7	1.03	1.03	83.1 ± 10.4	77.0	0.97
Zn	123 ± 35.7	131 ± 56.1	144	0.83	0.91	99.6 ± 12.5	80.7	1.14
Cu	50.7 ± 16.1	57.1 ± 54.3	57.0	0.86	0.99	44.0 ± 6.75	31.7	1.12

出自 Zhang L C (1996), Poulton W S and Raiswell R (2000); 出自 Wang (2002); 质量分数, %。

从表 1 可知,6 种重金属元素在沉积物中的平均含量均超过土壤,在两侧河道沉积物中的含量相近,高于长江在该流域沉积物中的平均值, Ni、Cr、Cu、Zn 4 种元素的 EF 值在 1.0 左右, Cd 和 Pb 分别达到了 1.46 和 1.34, 说明这两种元素在沉积物中有一定程度的富集。这 6 种重金属元素在土壤中的含量均超过了土壤背景值,其中 Cd 的绝对含量已经超过了土壤环境质量三级标准,其 EF 值为

1.39,富集程度高于其他几种金属。

2.2 Cd 与 Pb 在八卦洲近岸沉积物和土壤中的空间分布特征

图 1 列出了这 6 种重金属元素在沉积物和土壤中的空间分布情况,见图 1 (a) (b) (c) (d) (e) (f) (其中实心点和空心点分别表示沉积物和土壤中重金属含量分布)。

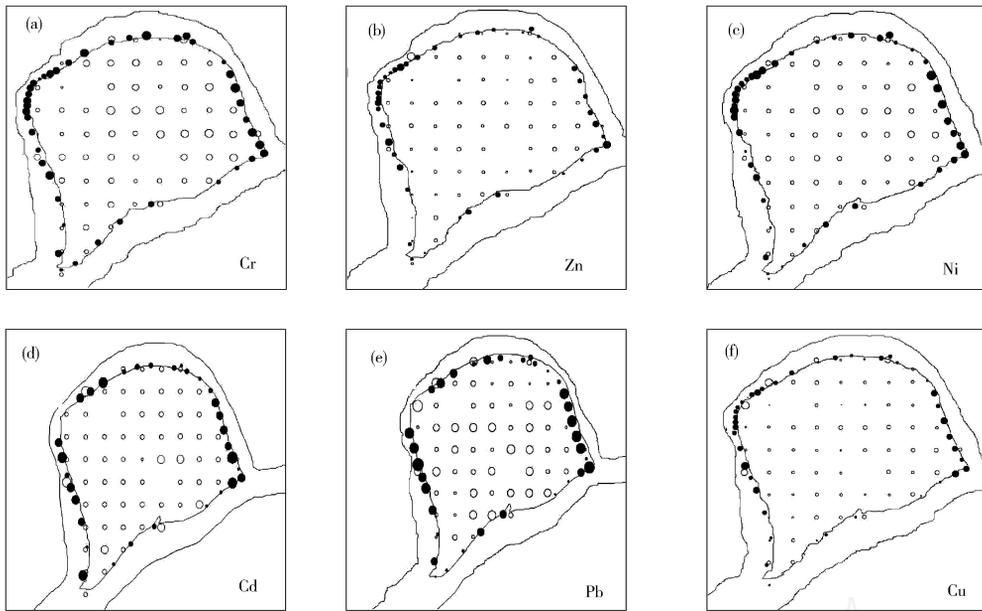


图 1 6 种重金属在八卦洲近岸沉积物和土壤中的空间分布

Fig 1 Spatial distributions of six metals in sediments and soils of Baguazhou Island

由图 1 可知, Cr、Cu、Zn 和 Ni 在土壤和左右两侧河道沉积物中分布均匀, Cd 和 Pb 在整个洲体土壤中分布均匀, 在近岸沉积物中分布不均匀, 且含量高于土壤, 左汊的大厂区对岸和洲尾沉积物中重金属的含量高于其他部位, 大厂区是南京的主要工业区, 分布着钢铁厂、化肥厂、化工厂和热电厂等污染严重的企业, 排放的废水和固体废弃物使得该地区的重金属含量升高。江水携带的悬浮物堆积在洲尾, 吸附在悬浮物上的重金属导致洲尾元素含量高。右汊是八卦洲的主汊, 水流速大, 无悬浮物的大量沉积, 周围无大型污染企业, 在其沉积物中, 6 种重金属分布均匀且含量低于左汊。

Cd 和 Pb 是两种主要的污染和富集元素, 为了进一步了解它们在土壤和沉积物中的垂直分布与富集特征, 于左汊大厂区对岸采集沉积物的剖面土样进行分析, 结果分别见图 2(a) (b)。

由图 2 可见, 在 1 cm ~ 120 cm 的深度范围内, Cd、Pb 两种金属在沉积物剖面所有层次中的含量均超过土壤, 在沉积物中的平均值分别为 0.78 mg/kg 和 54 mg/kg, 在土壤为 0.43 mg/kg 和 29 mg/kg, 两者相差近 2 倍, 用富集因子公式计算该点沉积物中 Cd 和 Pb 的 EF 值均达到 1.5 以上。结合表 1 可以认为, 八卦洲近岸沉积物存在 Cd 和 Pb 的明显富集现象, 说明近年来长江中上游

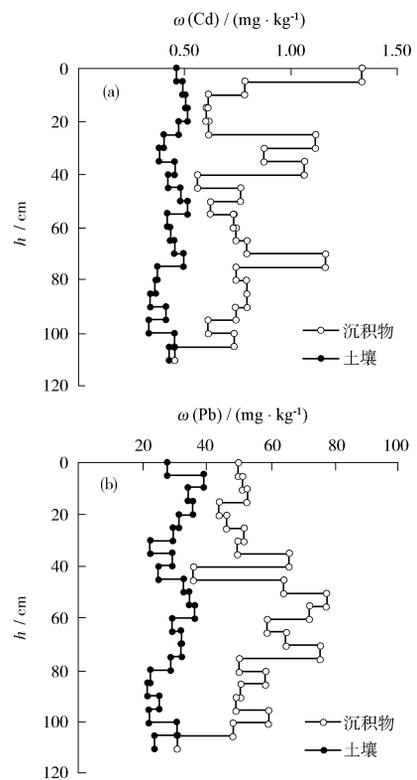


图 2 沉积物和土壤中 Cd、Pb 含量在剖面中的分布

Fig 2 Comparison of depth distributions of Cd, Pb concentrations in sediments and soils

及该地区的污染加剧,排放的重金属污染物增多。Pb在土壤剖面中也有轻微的表生富集现象,可能是周围化工厂排放的烟尘中携带的含 Pb 污染物降落到土壤表面的缘故,但是剖面上下含量的差异比沉积物剖面的含量变化要小得多。

2.3 Cd和 Pb含量与粒度的关系分析

沉积物粒度是影响其中重金属含量的最重要控制参数之一^[7],受水体动力条件影响,水流速大时,江水携带中上游的悬浮物到达下游,水流速小时,悬浮物就会沉积下来形成近岸沉积物,有关长江的这种水力作用在许多文献中均有报道^[8-10]。悬浮物作为重金属的主要载体^[11]和沉积物的重要来源,通过粒度分析,可揭示河流中上游污染对下游沉积物中重金属含量的影响和贡献。沉积物中 Cd、Pb 含量与粒度的关系见图 3。

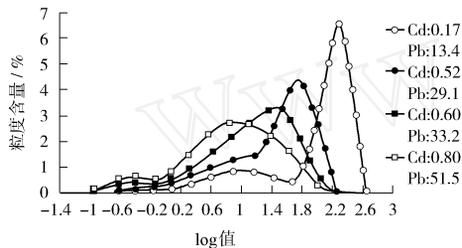


图 3 不同沉积物中 Cd、Pb 含量与粒度分布的关系

Fig 3 The relationship between concentrations of Cd, Pb in sediments and grain sizes

由图 3 可看出,不同粒级的沉积物所含金属的量不同,并且相差较大,金属元素与粒度的变化规律遵从“粒控效应”,这与孟红明等^[12]、张晓东等^[13]的研究结果一致。

为了进一步分析 Cd、Pb 含量与不同粒径范围之间的关系,对其进行回归分析,结果见图 4。

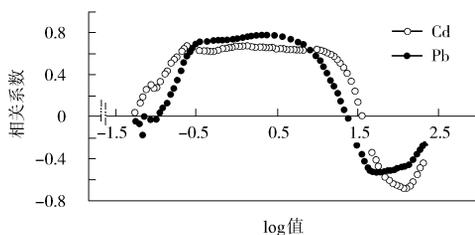


图 4 沉积物中 Cd 和 Pb 与其粒径之间的相关性

Fig 4 Relationships between Cd, Pb in sediments and grain sizes

回归分析的结果显示,沉积物中 Cd 和 Pb 的含量与颗粒物的不同粒径范围呈现显著的相关性。沉积物中 Cd 和 Pb 含量分别与 $0.13 \mu\text{m} \sim 23.62 \mu\text{m}$ 和 $0.22 \mu\text{m} \sim 13.14 \mu\text{m}$ 范围内的颗粒物呈极显著相关关系,Cd 和 Pb 分别与低于 $0.13 \mu\text{m}$ 和 $0.22 \mu\text{m}$ 的超细颗粒物无显著相关性,原因在于这部分颗粒物在沉积物总量中所占比例较小。金属含量与超过 $60 \mu\text{m}$ 的粗颗粒呈负相关,这部分颗粒物中含有大量吸附重金属能力很低的“惰性颗粒物”,其在沉积物总量中主要承担着重金属的“稀释作用”,这与多数学者认为的绝大多数元素的含量随沉积物的粒度变细而升高的结论是相符的^[14],与 DeGroot 的沉积物中重金属的含量与其中粒径 $16 \mu\text{m}$ 的颗粒所占百分数之间存在着良好的线性关系^[15]这一结论也相符合。八卦洲近岸沉积物中重金属含量与细颗粒物的量呈现密切的关系,表明细颗粒矿物中所携带的重金属可能是沉积物中重金属的最主要来源,这部分颗粒物主要通过江水的分选和携带沉积在近岸。

3 结论

(1)在长江南京段近岸沉积物和土壤中 Cd、Pb 均有明显的富集现象,其中沉积物中的富集程度高于土壤,Cd 和 Pb 的 EF 值达到 1.46 和 1.34,高于土壤中的 1.39 和 0.89。

(2)沉积物剖面中 Cd 和 Pb 的含量和变化幅度均高于土壤,在沉积物各剖面中有明显的富集现象,造成这种现象的主要原因是近年来向江水中排放的重金属污染物增多。

(3)沉积物中富含 Cd 和 Pb 的颗粒物主要是低于 $60 \mu\text{m}$ 的细颗粒矿物,主要来源于长江中上游的悬浮物。受长江江水水力作用和颗粒物分选机制的影响,在八卦洲的洲头地区粗颗粒物较多,使沉积物中 Cd 和 Pb 的含量低,在洲尾地区细颗粒物较多,重金属含量高于其他部位。

[参考文献]

- [1] 范成新,朱育新,吉志军,等.太湖宜溧河水系沉积物的重金属污染特征[J].湖泊科学,2002,14(3):235-241.
- [2] 毕春娟,陈振楼,徐世远,等.长江口滨岸潮滩重金属源汇通量估算[J].地球化学,2006,35(2):187-193.
- [3] 钱嫦萍,陈振楼,毕春娟,等.潮滩沉积物重金属生物地球化学研究进展[J].环境科学研究,2002,15(5):49-51.
- [4] SALOMONS W, ROO J N M, KERD J K H, et al Sediments as

- a source for contaminants [J]. *Hydrobiologia*, 1987, 149 (1): 13 - 30.
- [5] SEGURA R, ARANCIBIA V, ZUNIGA, et al. Distribution of copper, zinc, lead and cadmium concentrations in stream sediments from the Mapocho River in Santiago, Chile [J]. *Journal of Geochemical Exploration*, 2006 (84): 1 - 10.
- [6] 国家环境保护总局. HJ/T 166 - 2004 土壤环境监测技术规范 [S]. 北京: 中国环境出版社, 2004.
- [7] 陈静生, 王飞越. 论小于 63 μm 粒级作为水体颗粒物重金属研究介质的合理性及有关粒级转化模型研究 [J]. *环境科学学报*, 1994, 12 (4): 419 - 424.
- [8] 刘红, 何青, 孟翊, 等. 长江口表层沉积物分布特征及动力响应 [J]. *地理学报*, 2007, 62 (1): 81 - 92.
- [9] 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 (5): 15 - 18.
- [10] 杨清伟, 肖飞, 刘雪莲, 等. 长江重庆城区段表层沉积物重金属污染特征分析 [J]. *水资源保护*, 2009, 25 (1): 28 - 31.
- [11] 陈振楼, 许世远, 柳林, 等. 上海滨海滩涂沉积物重金属元素的空间分布与累积 [J]. *地理学报*, 2000, 55 (6): 641 - 651.
- [12] 孟红明, 张振克, 田海涛. 石梁河水库表层沉积物重金属含量与污染研究 [J]. *农业环境科学学报*, 2008, 27 (2): 721 - 725.
- [13] 张晓东, 翟世奎, 许淑梅, 等. 长江口外缺氧区沉积物中氧化还原敏感性元素的“粒控效应” [J]. *中国海洋大学学报*, 2005, 35 (5): 868 - 874.
- [14] 乔磊, 袁旭音, 李阿梅. 江苏海岸带的重金属特征及生态分析 [J]. *农业环境科学学报*, 2005, 24 (增刊): 178 - 182.
- [15] DE Groot A J. Contents and behavior of mercury as compared with other heavy metals in sediments from the rivers, Rhine and Ems [J]. *Geologic Mijinbow*, 1991 (50): 393 - 398.

(上接第 31 页)

提高, 入湖水体氮、磷含量逐渐降低, 外源性氮、磷将不能满足蓝藻等生物增长的需求, 底泥释放将成为水体污染主要来源。特别是蓝藻生长的微风季节, 水体中营养物质含量虽没有明显变化, 但在水中生物生长的拉动下, 营养物质将随着底泥的再悬浮而释放。因此, 微风条件下的底泥再悬浮研究, 对认识和改善湖泊水体的富营养化过程尤为重要。

4 结论

微风或无风状态下, 异龙湖监测区域平均沉降通量和平均再悬浮通量分别为 1.278 $\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 和 0.812 $\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$; 底泥再悬浮对水体悬浮物含量贡献达到 63.5%。描述底泥再悬浮的复杂动态过程需要的合适监测时间为 48 h。

[参考文献]

- [1] 秦伯强, 范成新. 大型浅水湖泊内源营养盐释放的概念性模式讨论 [J]. *中国环境科学*, 2002, 22 (2): 150 - 153.
- [2] 李一平, 逢勇, 李勇. 水动力作用下太湖底泥的在悬浮通量 [J]. *水利学报*, 2007, 8 (5): 558 - 564.
- [3] 逢勇, 颜润润, 余钟波, 等. 风浪作用下的底泥悬浮沉降及内源释放量研究 [J]. *环境科学*, 2008, 29 (9): 2456 - 2464.
- [4] 秦伯强, 朱广伟, 张路, 等. 大型浅水湖泊沉积物内源营养盐释放模式及其估算方法——以太湖为例 [J]. *中国科学 D 辑地球科学*, 2005, 35 (增刊 ID): 33 - 44.
- [5] 张运林, 秦伯强, 陈伟民, 等. 太湖水体中悬浮物研究 [J]. *长江流域资源与环境*, 2004, 13 (3): 266 - 271.
- [6] 秦伯强, 胡维平, 高光, 等. 太湖沉积物悬浮的动力机制及内源释放的概念模式 [J]. *科学通报*, 2003, 48 (17): 1822 - 1831.
- [7] 胡小贞, 金相灿, 辛玮光, 等. 浅水湖泊沉积物悬浮颗粒捕获器 [J/OL] [2007 - 10 - 19] <http://www.qianyan.biz/Patent-Display/200710195112.html>
- [8] 张运林, 秦伯强, 陈伟民, 等. 太湖水体中悬浮物研究 [J]. *长江流域资源与环境*, 2004, 13 (3): 266 - 271.
- [9] 金相灿, 屠清瑛. 湖泊富营养化调查规范 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1990.
- [10] BLOESCH I J. A review of methods used to measure sediment re-suspension [J]. *Hydrobiologia*, 1994 (284): 13 - 18.
- [11] GACHTER R, MEYER S, MARE S A. Contribution of bacteria to release and fixation of phosphorus in lake sediments [J]. *Limnology and Oceanography*, 1998 (33): 1542 - 1558.
- [12] 庄一廷. 湖泊、水库富营养化的检测 [J]. *环境监测管理与技术*, 2005, 17 (4): 26 - 30.
- [13] 华凤林. 湖泊富营养化与底质磷释放 [J]. *环境监测管理与技术*, 1993, 5 (4): 18 - 20, 37.

本栏目责任编辑 薛光璞

· 简讯 ·

《2010年度江苏省环境监测工作实施方案》正式发布

为组织做好江苏省环境质量监测工作, 确保为环境管理提供及时有效的环境质量监测数据, 近日, 省环保厅正式印发了《2010年度江苏省环境监测工作实施方案》(简称《方案》)。《方案》详细规定了全省各环境要素例行监测点位、监测项目、监测频次和上报要求, 《方案》内容全面覆盖了空气质量、水环境质量、生物和生态、海洋、噪声、污染源等环境领域, 还新增了全省环境监测质量监督内容, 进一步加强了全省监测工作的质控力度。

摘自 www.jshh.gov.cn 2010 - 03 - 22