# 长江口及邻近海域夏季表层沉积物中重金属等的分布、来源与 沉积物环境质量

何松琴<sup>1</sup>,宋金明<sup>2</sup>,李学刚<sup>2</sup>,刘志刚<sup>3</sup>

(1. 浙江省舟山海洋生态环境监测站, 浙江 舟山 316000; 2. 中国科学院 海洋研究所海洋生态与环境科学重 点实验室, 山东 青岛 266071; 3. 浙江省舟山市海洋与渔业局, 浙江 舟山 316000)

> 摘要:通过现场调查研究报道了长江口及邻近海域表层沉积物中重金属、有机碳、石油类、硫化物以及氮 磷的分布、来源以及沉积物环境质量。结果显示,长江口及邻近海域表层沉积物中重金属、有机碳、石油 类、硫化物以及氮磷的分布很不均匀,除硫化物外,重金属、有机碳、石油类以及氮磷基本呈现长江口和 杭州湾东北近岸的上海外海出现高值,其他区域浓度较低。硫化物在长江口外、杭州湾西部以及舟山群岛 东南海域出现高值,与这一区域低氧区的分布基本一致。长江口及邻近海域表层沉积物中重金属、有机碳、 石油类、硫化物以及氮磷主要来自于长江及陆源排污,长江等河流的输入占绝对优势,且影响这一整体海 域,陆源排污主要影响排污的近岸区域。单因子评价的结果显示,长江口及邻近海域表层沉积物各项评价 指标均符合国家一类沉积物质量标准,调查海域表层沉积物质量优良。

关键词: 重金属; 分布; 来源; 表层沉积物; 长江口及邻近海域 中图分类号: P736.4 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2011)05-0004-06

海洋沉积物记录了物质来源和环境演变的讯息, 剖析沉积物的地球化学特征是获取这些讯息的基础, 所以,研究海洋沉积物地球化学特征历来受到科学 家们的重视<sup>[1-6]</sup>。近年来,长江口及邻近海域由于受 人类活动影响,水体明显富营养化,生态环境有恶 化的趋势<sup>[7]</sup>,研究这一海域沉积物的地球化学特征 对探讨长江径流物质的输运规律与人为影响下河口 的生物地球化学过程具有重要的科学价值。尽管这 一海域有关沉积物化学特征已有不少的研究报 道<sup>[8-10]</sup>,但由于长江源源不断大量输入物的沉积和 研究关注点的不同,基于现场调查研究探讨长江口 及邻近海域沉积物中的地球化学参数的分布特征及 其变化规律仍有现实的科学意义。

本文利用 2005 年夏季长江口及邻近海域表层沉 积物调查资料,研究了表层沉积物中重金属、有机 碳、石油类、硫化物以及氮磷的分布特征,初步分析 了沉积物中这些组分的来源,用现行的我国海洋沉 积物环境质量标准评价了沉积物质量。

- 1 采样与分析
- 1.1 样品的采集

于 2005 年 7 月 5~13 日乘"浙海环监"号海洋

调查船,在 32°00′~29°30′N,123°E 以西 38 040 平方 千米海域调查内设 49 个站,用 DAY 型抓斗式采集器 采集表层沉积物,采样站位见图 1。表层沉积物样品 按《国家海洋调查规范》进行保存与处理。

#### 1.2 样品的分析测定

表层沉积物中的 Cu、Zn 用火焰原子吸收法测定, 相对误差分别为-0.36%和-1.2%; Pb、Cd 用无石墨炉 火焰原子吸收法测定,相对误差分别为-0.78%和 -4.7%; As、Hg 用原子荧光法测定,相对误差分别为 -3.0%和 2.1%;有机碳用重铬酸钾氧化-亚铁容量法 测定,相对误差分别为-4.2%;石油类用荧光分光光 度法测定,平行样相对偏差 0~9.1%;硫化物用亚甲 基兰分光光度法测定,平行样相对偏差 0~5.4%;总 氮、总磷用过硫酸钾氧化后分别用铜镉还原柱还原 萘乙二胺分光光度法和磷钼蓝法测定,平行样相对 偏差分别为 0.5%~6.9%和 0.1%~7.6%。

海洋科学 / 2011 年 / 第 35 卷 / 第 5 期

4

收稿日期: 2010-11-10; 修回日期: 2011-03-02

基金项目:中国科学院创新方向群项目(KZCXZ-YW-Q07-02);国家基 金委"创新研究群体科学基金"项目(40821004);浙江省环境保护科研 计划项目(2006-07)

作者简介:何松琴(1961-),女,浙江定海人,主要从事海洋生态环境监测研究;宋金明,通信作者, E-mail:jmsong@ms.qdio.ac.cn



图 1 长江口及邻近海域表层沉积物采样站位 Fig. 1 Sampling sites of the surface sediments in the Changjiang estuarine and its adjacent regions

2 结果与讨论

## 2.1 表层沉积物中重金属、有机碳、石油 类、硫化物以及氮磷的分布特征

#### 2.1.1 重金属的分布特征

图 2 是长江口及邻近海域表层沉积物中重金属 Cu、Pb、Zn、Cd、Hg、As 的平面分布图。从图中 可见 Cu 浓度范围为 5.1~34.4 mg/kg,均值 23.4 mg/kg。最高值出现在长江口 14 号站,最低值出现在 南通以东的长江口北支入海口的 6 号站,在长江口 南汇咀外、杭州湾北部区域及岱衢洋东部海域存在 30 mg/kg 的相对高值区,而在南通以东的长江口北 支入海口有一个 10 mg/kg 相对低值区。

Pb 浓度范围为 11.6~34.8 mg/kg,均值 19.3 mg/kg。最高值出现在长江口南支入海口东北部的 2 号站,最低值出现在定海东南部的 42 号站,在长江口北支出海口东部、杭州湾北部区域存在相对高值区,在定海东部海域沉积物中铅的含量相对较低。

Zn 浓度范围为 40.1~90.4 mg/kg, 均值 72.0 mg/kg。最高值出现在杭州湾北部 20 号站, 最低值出现在南通以东的长江口北支入海口 6 号站, 在杭州湾北部区域及岱衢洋东部海域存在 90 mg/kg 的相对高值区, 在南通以东的长江口北支入海口存在一个 50 mg/kg 的相对低值区。对沉积物中铜与锌的线性相关分析表明, 在调查海域沉积物中铜与锌具有明显的线性相关, 显著性水平大于 99.9 %(*P*<0.001), 这一海域沉积物中铜与锌的来源及参与的早期成岩过程相近<sup>[1]</sup>。

Cd 浓度范围为<0.040~0.285 mg/kg,均值 0.130 mg/kg。最高值出现在长江口南支入海口的 10 号站,最低值出现在长江口北支入海口的 6 号站,在长江口北支入海口以及杭州湾北部区域存在相对的高值区域,在长江口北支入海口存在一个低值区域,在调查海域的东部沉积物中镉的含量相对较低。

Hg 浓度范围为 0.011~0.184 mg/kg, 均值 0.064 mg/kg。最高值出现在杭州湾北部 24 号站, 最低值出



现在长江口北支入海口东部的 5 号站, 在杭州湾北 部区域存在一个 0.17 mg/kg 高值区域, 其余调查海 域的沉积物中汞的含量相对较低。

As 浓度范围为 5.78~13.2 mg/kg, 均值 9.87 mg/kg。最高值出现在 33 号站, 最低值出现在杭州湾内的 26 号站, 在长江口南汇咀外、杭州湾北部区域、 岱衢洋东部海域以及南通以东的长江口北支入海口存在 12 mg/kg 的相对高值区, 在舟山本岛北部海域存在一个 8 mg/kg 的相对低值区。

#### 2.1.2 有机碳、石油类、硫化物的分布特征

有机碳、石油类、硫化物平面分布如图 3 所示。 有机碳范围为 0.018%~0.720%, 均值 0.428%。最高 值出现在定海东北部 28 号站,最低值出现在长江口 北支入海口 6 号站。有机碳含量呈现南北分布,在南 北走向的中部区域,杭州湾及其湾口东部区域沉积 物中有机碳含量相对较高,在调查海域的北部和东 南部区域沉积物中有机碳的含量相对较低,在长江 口有一个低值区域。



图 3 表层沉积物中有机碳(%)、石油类、硫化物(mg/kg)平面分布 Fig. 3 Distributions of OC(%), oils and sulfides in the surface sediments

石油类范围为<2.0~16.0 mg/kg,均值4.0 mg/kg。 最高值出现在长江口南支入海口14号站,有7个站 位未检出,调查海域沉积物中石油类含量均较低, 在长江口南支入海口石油类含量出现14.0 mg/kg 高 值区,长江口北支入海口海域为一低值区。

硫化物范围为<0.3~56.7 mg/kg,均值8.6 mg/kg。 最高值出现在定海东南部40号站,有10个站位未检 出,在长江口北支入海口、杭州湾西部以及定海东南 部沉积物中硫化物的含量有3个高值区,在杭州湾 东北部及湾口东部出现一个低值区域,硫化物的分 布趋势与这一海域低氧区的分布基本一致<sup>[2]</sup>。

### 2.1.3 氮、磷的分布特征

总氮范围为 26.4~298.0 mg/kg,均值 154.4 mg/kg(图 4)。最高值出现在长江口北支入海口东北部1号站,最低值出现在长江口北支入海口东部5号站,在长江口北支入海口东北部、杭州湾西部以及定海东南部和调查海域东边中部地区沉积物中总氮含量有 4 个高值区,在长江口北支入海口出现一个低值区域。

总磷范围为 2.45~27.8 mg/kg,均值 12.6 mg/kg。 最高值出现在长江口北支入海口 6 号站,最低值出 现在长江口南支入海口 9 号站,在长江口北支入海 口沉积物中总磷的含量有一个 26 mg/kg 的高值区, 在长江口南支入海口南部出现一个低值区域。沉积 物中氮磷的分布反映了它们供给源的大体情况<sup>[1-2]</sup>。

## 2.2 沉积物中重金属、有机碳、石油类、 硫化物以及氮磷的来源

长江口及邻近海域沉积物中的重金属、有机碳、 石油类、硫化物以及氮磷主要来自于陆源污染的输 入,包括两大途径,即这一区域的直排海污染源和 以长江为主的河流输入<sup>[1-2,11]</sup>。

#### 2.2.1 来自直排海污染源

长江口及邻近海域有大量的直排入海排污口, 每年排入的污水量达 100 多万吨,这其中含有的氮 和磷就达 20000 多吨和 1000 多吨,排放口中工业源 的数量占 4/5,但来自直排海污染源的主要污染物来 自综合排污源,这些污染物入海后有相当部分沉降 至底部,对沉积物中的重金属、有机碳、石油类、硫 化物以及氮磷产生贡献。

#### 2.2.2 来自以长江为主的河流输入

入海河流带入的大量污染物质是长江口及邻近 海域沉积物污染组分的最重要来源。长江口及邻近 海域入海河流流量可达1000亿m<sup>3</sup>/a,带入的氮和磷 就达200多万吨和20万吨,这一区域长江和钱塘江 分别占区域总河流流量的96.4%和3.2%,这两条河 流带入的污染物质也占了总河流输入的绝大部分, 如输入的氮磷长江分别占93.4%和98.0%,钱塘江分 别占4.7%和1.3%。河流带入的这些物质据初步估算, 约5%~10%沉降进入沉积物,对沉积物的地球化学 特征产生影响<sup>[2,12]</sup>。

#### 2.3 长江口及邻近海域沉积物的环境质量

评价因子选取铜、铅、锌、镉、汞、砷、有机 碳、石油类和硫化物共9项,采用《海洋沉积物质量》 (GB18668-2002)单因子评价标准,即该站位任一指 标测值超过第一类质量标准的,即为第二类沉积物 质量,超过第二类质量标准的即为第三类沉积物质 量,超过第三类质量标准的,即为劣三类沉积物质 量。平均值和超标率数据统计以样品数为计算单元。 评价区域整体沉积物质量状况时,按等级划分分别 表征为沉积物质量优良、一般、差、极差四级。

评价结果是调查海域中沉积物各项评价指标无 一超标,均符合国家一类沉积物质量标准。表明调查 海域表层沉积物质量良好,沉积物质量为优良。



图 4 沉积物中总氮和总磷(mg/kg)平面分布 Fig. 4 Distributions of TN and TP in the surface sediments

## 3 结论

通过对长江口及邻近海域表层沉积物中重金 属、有机碳、石油类、硫化物以及氮磷的研究,获得 了以下的主要结论:

 1) 长江口及邻近海域表层沉积物中重金属、有 机碳、石油类、硫化物以及氮磷的分布很不均匀,除 硫化物外,重金属、有机碳、石油类以及氮磷基本呈 现长江口和杭州湾东北近岸的上海外海出现高值, 其他区域浓度较低。硫化物呈现长江口外、杭州湾 西部以及舟山群岛东南海域出现高值,与这一区域 低氧区的分布基本一致。

 2) 长江口及邻近海域表层沉积物中重金属、有 机碳、石油类、硫化物以及氮磷主要来自于的长江 及陆源排污,长江等河流的输入占绝对优势,且影 响这一整体海域,陆源排污主要影响排污的近岸区 域。

3) 单因子评价的结果显示,长江口及邻近海域 表层沉积物各项评价指标均符合国家一类沉积物质 量标准,调查海域表层沉积物质量优良。

#### 参考文献:

- [1] 宋金明. 中国近海生物地球化学[M]. 山东科技出版 社, 2004: 1-591.
- [2] Song Jinming. Biogeochemical Processes of Biogenic Elements in China Marginal Seas[M]. Springer-Verlag GmbH & Zhejiang University Press, 2010. 1-662
- [3] Ellegaard M, Clarke A L, Reuss N, et al. Multi-proxy

海洋科学 / 2011 年 / 第 35 卷 / 第 5 期

evidence of long-term changes in ecosystem structure in a Danish marine estuary, linked to increased nutrient loading[J]. Estuarine Coastal and Shelf Science, 2006, 68(3-4): 567-578.

- [4] Hori K, Saito Y, Zhao Q H, et al. Sedimentary facies of the tide-dominated paleo-Changjiang (Yangtze) estuary during the last transgression[J]. Marine Geology, 2001, 177(3-4): 331-351.
- [5] Rosenbauer R J, Swarzenski P W, Kendall C, et al. A carbon, nitrogen, and sulfur elemental and isotopic study in dated sediment cores from the Louisiana Shelf [J]. Geo-Marine Letters, 2009, 29(6): 415-429.
- [6] Gao Xuelu, Song Jinming, Dissolved oxygen and CO<sub>2</sub> flux across water-air interface of the Changjiang Estuary in May 2003[J]. Journal of Marine System, 2008, 74: 343-350.
- [7] Duan Liqin, Song Jinming, Yayan Xua, et al. The distribution, enrichment and source of potential harmful elements

in surface sediment sof Bohai Bay, North China[J]. Journal of Hazardous Materials, 2010, 183: 155-164.

- [8] 王成厚. 东海海底沉积地球化学[M]. 北京: 海洋出版社, 1995: 1-197.
- [9] Li X G, Song J M, Yuan H M. Inorganic carbon of sediments in the Yangtze River Estuary and Jiaozhou Bay[J]. Biogeochemistry, 2006, 77(2): 177-197.
- [10] Jin Haiyan, Chen Jianfang, Weng Huanxin. Variations in paleoproductivity and the environmental implications over the past six decades in the Changjiang Estuary[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2010, 29(3): 38-45.
- [11] He Zhipeng, Song Jinming, Zhang Naixing, et al. Variation characteristics and ecological risk of heavy metals in the south Yellow Sea surface sediments[J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2009. 157: 515-528.
- [12] 张乃星,宋金明,贺志鹏.海水颗粒有机碳(POC)变
  化的生物地球化学机制[J].生态学报,2006,26(7):
  2328-2339.

## Distribution, source of heavy metals in the surface sediments and sediment quality of the Changjiang Estuarine and its adjacent regions

## HE Song-qin<sup>1</sup>, SONG Jin-ming<sup>2</sup>, LI Xue-gang<sup>2</sup>, LIU Zhi-gang<sup>3</sup>

 (1. Zhoushan Marine Eco-Environmental Monitoring Station, Zhoushan 316000, China; 2. Key Laboratory of Marine Ecology and Environmental Sciences, Institute of Oceanology, CAS, Qingdao 266071, China;
 3. Zhoushan Oceanic and Fishery Bureau, Zhoushan 316000, China)

Received: Nov., 10, 2010

Key words: heavy metal; distribution; source; surface sediment; Changjiang estuarine and its adjacent region

**Abstract:** The geochemical characteristics of heavy metals, organic carbon, oil, sulfide, nitrogen, and phosphorus in surface sediments of the Changjiang estuarine and its adjacent regions were reported in this paper. The distributions of heavy metals, organic carbon, oil, sulfide, nitrogen and phosphorus in surface sediments were very irregular, and the high values of Cu, Pb, Zn, Cd, Hg, As, OC, oils, TN, and TP appeared in the Changjiang estuarine and the northeast region of the Hangzhou Bay; but the high sulfides, which was similar to the distribution of hypoxia area, in the outside of the Changjiang estuarine, the near top coastal region of the Hangzhou Bay, and the southeast region of the Zhoushan islands. The main sources of heavy metals, organic carbon, oil, sulfide, nitrogen, and phosphorus in surface sediments of the Changjiang estuarine and its adjacent regions were the input of the Changjiang river and land pollution matter. The Changjiang river input could affect the whole sea region, and the land pollution matter input only had influence on the coastal region. The sediment quality of the Changjiang estuarine and its adjacent regions were suitable for the sediment assessment.

(本文编辑:张培新)