

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第35卷 第2期

Vol.35 No.2

2014

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

我国环境空气中颗粒物达标统计要求研究	王帅,丁俊男,王瑞斌,李健军,孟晓艳,杨彬,林宏 (401)
北京城区 PM _{2.5} 中致癌重金属季节变化特征及其来源分析	陶俊,张仁健,段菁春,荆俊山,朱李华,陈忠明,赵岳,曹军骥 (411)
北京地区冬春 PM _{2.5} 和 PM ₁₀ 污染水平时空分布及其与气象条件的关系	赵晨曦,王云琦,王玉杰,张会兰,赵冰清 (418)
北京市 PM _{2.5} 可吸入颗粒物反演及其时空分布分析	王艳慧,肖瑶 (428)
杭州市春季大气超细颗粒物粒径谱分布特征	谢小芳,孙在,杨文俊 (436)
春节期间南京市大气气溶胶粒径分布特征	王红磊,朱彬,沈利娟,刘晓慧,张泽锋,杨洋 (442)
南京市大气颗粒物中有机碳和元素碳粒径分布特征	吴梦龙,郭照冰,刘凤玲,刘杰,卢霞,姜琳娟 (451)
忻州市环境空气 PM ₁₀ 中有机碳和元素碳污染特征分析	史美鲜,彭林,刘效峰,牟玲,白慧玲,刘凤娟,杨花 (458)
广州某工业区大气中 PCDD/Fs 含量水平及其季节性变化特征	青宪,苏原,苏青,张素坤,任明忠 (464)
燃煤电厂锅炉 PM _{2.5} 排放危害度评价模型建立及案例分析	史妍婷,杜谦,高建民,边昕,王知涛,董鹤鸣,韩强,曹阳 (470)
中国南海大气降水化学特征	肖红伟,龙爱民,谢露华,肖化云,刘丛强 (475)
临安本底站酸雨长期观测特征分析	李正泉,马浩,毛裕定,冯涛 (481)
北京城区大气氮湿沉降特征研究	贺成武,任玉芬,王效科,毛宇翔 (490)
烟雾箱与数值模拟研究苯和乙苯的臭氧生成潜势	贾龙,徐永福 (495)
祁连山老虎沟 12 号冰川积雪中飞灰颗粒物的特征	董志文,秦大河,秦翔,杜志恒,陈记祖,任贾文 (504)
生活垃圾填埋场作业面恶臭散发率研究	羌宁,王红玉,赵爱华,袁文祥,邵俊,陈檬 (513)
生物滴滤塔处理苯酚气体研究	何觉聪,黄倩茹,陈洲洋,叶纪宏,罗雨薇,魏在山 (520)
国 V 柴油机燃用丁醇-柴油混合燃料颗粒粒径分布特性试验研究	楼狄明,徐宁,范文佳,张涛 (526)
翻堆频率对猪粪条堆肥过程温室气体和氨气排放的影响	赵晨阳,李洪枚,魏源送,钟佳,郑嘉嘉,韩圣慧,万合峰 (533)
CuBr ₂ 分解缓释-膜催化对零价汞的氧化性能研究	胡林刚,瞿赞,晏乃强,郭永福,谢江坤,贾金平 (541)
浙闽沿海岸域总溶解态无机锡的分布及影响因素研究	张许州,任景玲,刘宗广,樊孝鹏,刘诚刚,吴莹 (547)
基于双向算法的湖库允许纳污负荷量计算及案例	贾海峰,郭羽 (555)
北京平原区第四系地下水污染风险评价	郭高轩,李宇,许亮,李志萍,杨庆,许苗娟 (562)
不同季节辽河口营养盐的河口混合行为	张晋华,于立霞,姚庆祯,田琳 (569)
太湖南运河入湖河口沉积物氮素分布特征	马久远,王国祥,李振国,张佳,周锋,魏宏农,欧媛 (577)
亚热带地区潜流人工湿地木本植物筛选与净化潜力评价	陈永华,吴晓芙,郝君,陈明利,朱光玉 (585)
潜流人工湿地基质结构与水力特性相关性研究	白少元,宋志鑫,丁彦礼,游少鸿,何珊 (592)
凤眼莲对铜绿微囊藻生长及藻毒素与营养盐释放的影响	周庆,韩士群,严少华,宋伟,刘国峰 (597)
不同预氧化剂对长江原水氯(胺)化 DBPs 生成潜能的影响	田富箱,徐斌,荣蓉,陈英英,张天阳,朱贺振 (605)
溴化十六烷基吡啶改性沸石对水中菲的吸附作用	李佳,林建伟,詹艳慧,陈祖梅,王鹏钧 (611)
四环素光催化降解特性与选择性研究	宋晨怡,尹大强 (619)
微生物电解系统生物阴极的硫酸盐还原特性研究	符诗雨,刘广立,骆海萍,张仁铎,章莹颖 (626)
市政污水 A/DAT-IAT 系统中溶解性有机物表征与生态安全	杨赛,周启星,华涛 (633)
膜-生物反应器处理高盐废水膜面污染物特性研究	李彬,王志刚,安莹,吴志超 (643)
臭氧-曝气生物滤池组合工艺处理石化二级出水的试验研究	刘明国,吴昌永,周岳溪,高祯,王佩超,杨琦,董德 (651)
厌氧生物法处理果胶废水的研究	陈兵兵,杨春平,黎想,代传花,彭蓝艳 (657)
氧氟沙星在碳纳米管上的吸附机制研究	赵兴兴,于水利,王哲 (663)
平菇菌糠对废水中铜离子的生物吸附性能	胡晓婧,戴婷婷,顾海东,金羽,曲娟娟 (669)
基于流态化作用的吸附反应动力学和穿透特征	王君,王瑶,黄星,袁益龙,陈瑞晖,周航,周丹丹 (678)
广州城市污泥中重金属形态特征及其生态风险评价	郭鹏然,雷永乾,蔡大川,张涛,吴锐,潘佳钊 (684)
中国农田土壤重金属富集状况及其空间分布研究	张小敏,张秀英,钟大洋,江洪 (692)
废旧电容器封存点土壤中的 PCBs 污染特征和健康风险评价	周玲莉,吴广龙,薛南冬,杨兵,李发生,丁琼,周丹丹,燕云仲,刘博,韩宝禄 (704)
深圳市表层土壤多环芳烃污染及空间分异研究	章迪,曹善平,孙建林,曾辉 (711)
洋河流域万全段重金属污染风险及控制对策	谭冰,王铁宇,朱朝云,李奇峰,徐笠,吕永龙 (719)
施用组配固化剂对盆栽土壤重金属交换态含量及在水稻中累积分布的影响	曾卉,周航,邱琼瑶,廖柏寒 (727)
螯合剂复配对实际重金属污染土壤洗脱效率影响及形态变化特征	尹雪,陈家军,吕策 (733)
<i>Pseudomonas</i> sp. QJX-1 的锰氧化特性研究	周娜娜,柏耀辉,梁金松,罗金明,刘锐平,胡承志,袁林江 (740)
$n(\text{NO}_3^- - \text{N})/n(\text{NO}_2^- - \text{N})$ 对混培养菌与纯培养菌同步脱氮除硫的影响	陈子爱,陈会娟,魏本平,刘刚金,邓良伟,吴力斌 (746)
杭州市空气微生物群落碳代谢特征研究	龚婵娟,许晶,方治国,楼秀芹,欧阳志云 (753)
鼠李糖脂逆胶束体系中纤维素酶的后萃研究	赵艳鸽,袁兴中,黄华军,崔凯龙,彭馨,彭子原,曾光明 (759)
黄海常见鱼类体内汞含量的种内和种间差异研究	朱艾嘉,许战洲,柳圭泽,邓丽杰,方宏达,黄良民 (764)
3 种 PAEs 对蚯蚓的毒性作用和组织酶活性影响的研究	王艳,马泽民,吴石金 (770)
新型保水剂应用于土壤-小白菜系统的环境安全评价	李希,贺纪正,郑袁明,郑明兰 (780)
黄河三角洲翅碱蓬湿地硫化氢和羧基硫排放动态研究	李新华,郭洪海,杨丽萍,朱振林,孙晓青 (786)
农田土壤 N ₂ O 产生的关键微生物过程及减排措施	朱永官,王晓辉,杨小茹,徐会娟,贾炎 (792)
《环境科学》征订启事 (691) 《环境科学》征稿简则 (800) 信息 (489,519,591,791)	

浙闽沿岸海域总溶解态无机锑的分布及影响因素研究

张许州¹, 任景玲^{1*}, 刘宗广¹, 樊孝鹏², 刘诚刚², 吴莹³

(1. 中国海洋大学海洋化学理论与工程技术教育部重点实验室, 青岛 266100; 2. 国家海洋局第二海洋研究所, 杭州 310012; 3. 华东师范大学河口海岸学国家重点实验室, 上海 200062)

摘要: 作为一种具有潜在致癌性的有毒稀有元素, 锑已经广泛地存在于水体中并显现出较为严重的环境问题, 引起科学界的广泛关注. 利用氢化物发生原子荧光光谱法测定 2008 年 5 月浙闽沿岸海域水样中总溶解态无机锑 (TDisb) 的含量. 结果表明, 浙闽沿岸海域表、底层 TDisb 浓度的变化范围分别是 $0.68 \sim 5.64 \text{ nmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $0.71 \sim 5.25 \text{ nmol} \cdot \text{L}^{-1}$, 平均含量分别为 2.25 、 $1.79 \text{ nmol} \cdot \text{L}^{-1}$, 低于我国地表水环境质量和世界卫生组织规定的饮用水水质标准 (约 $41.08 \text{ nmol} \cdot \text{L}^{-1}$). 总溶解态无机锑表现出由沿岸向中央海区递减、表层高于底层的分布特征. 影响浙闽沿岸海域溶解态无机锑分布的主要因素有水团混合, 生物活动及悬浮颗粒物吸附解吸过程等.

关键词: 总溶解态无机锑; 分布; 影响因素; 水团混合; 浙闽沿岸海域

中图分类号: X55 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2014)02-0547-08

Distributions and Influencing Factors of Total Dissolved Inorganic Antimony in the Coastal Area of Zhejiang and Fujian

ZHANG Xu-zhou¹, REN Jing-ling¹, LIU Zong-guang¹, FAN Xiao-peng², LIU Cheng-gang², WU Ying³

(1. Key Laboratory of Marine Chemistry Theory and Technology, Ministry of Education, Ocean University of China, Qingdao 266100, China; 2. Second Institute of Oceanography, State Ocean Administration, Hangzhou 310012, China; 3. State Key Laboratory of Estuarine and Coastal Research, East China Normal University, Shanghai 200062, China)

Abstract: Antimony has been ubiquitously present in the aquatic environment as a toxic and rare metalloid element. The contamination of antimony and its compounds in the environment is increasingly severe, so it has been received extensive attention by the international scientific community. The cruise was carried out in the coastal area of Zhejiang and Fujian provinces in the East China Sea (ECS) in May 2008. The concentrations of total dissolved inorganic antimony (TDisb) were measured by Hydride Generation-Atomic Fluorescence (HG-AFS). The concentration ranges of TDisb in the surface and bottom layer were $0.68 \sim 5.64 \text{ nmol} \cdot \text{L}^{-1}$ and $0.71 \sim 5.25 \text{ nmol} \cdot \text{L}^{-1}$ with averages of 2.25 and $1.79 \text{ nmol} \cdot \text{L}^{-1}$, respectively. The concentration of TDisb in the study area was lower than the environmental quality standards for surface water of China and drinking water standards of World Health Organization (about $41.08 \text{ nmol} \cdot \text{L}^{-1}$), indicating that it remained at the pristine level. The concentration of TDisb decreased gradually from the coastal area to the central ECS shelf with higher concentration in the surface layer than the bottom. Water mass mixing, adsorption/desorption behavior on the surface of the suspended particulate matters (SPM) and biological activities were the main influence factors of TDisb biogeochemistry in the study area.

Key words: total dissolved inorganic antimony; distribution; influence factors; water mass mixing; coastal area of Zhejiang and Fujian

锑是自然界普遍存在的有毒稀有元素, 在地壳中的平均丰度为 $0.2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ [1]. 在未受人为活动扰动的天然水体中锑的浓度小于 $8 \text{ nmol} \cdot \text{L}^{-1}$ [1], 而在开阔大洋中的浓度更低, 约为 $2 \text{ nmol} \cdot \text{L}^{-1}$ [2]. 近期研究结果表明, 锑的海洋生物地球化学行为基本是保守的, 浮游植物等生物活动对其影响相对较小 [2], 但悬浮颗粒物表面的吸附解吸会造成其不保守行为. 锑在自然界中能够以多种氧化态形式存在, 其在环境中的迁移转化规律以及生物毒性效应差异很大. 锑在水生环境中主要以 +5 价、+3 价两种形式存在, 其中三价锑的毒性要大于五价锑, 无机锑化合物的毒性大于有机锑化合物 [3].

锑是一种全球性污染物, 它对人体及生物具有

慢性毒性和致癌性, 人体及动物可通过水、空气、食品、皮肤接触和呼吸等各种途径接触环境中的锑, 因此锑及其化合物已被美国及欧盟环保局列为优先污染物, 引起国际科学界的广泛关注 [4, 5]. 近年来, 由于锑氧化物作为无机阻燃剂在塑料、橡胶等高分子材料中的广泛应用 [6, 7], 再加上岩石风化、土壤流失和锑矿废物的排放, 使环境中的锑污染日

收稿日期: 2013-06-01; 修订日期: 2013-08-07

基金项目: 国家重点基础研究发展规划 (973) 项目 (2011CB409801); 国家自然科学基金项目 (41176096); 国际科技合作项目 (2010DFA24590)

作者简介: 张许州 (1989 ~), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为痕量元素的海洋生物地球化学, E-mail: zhangxvzhou123@163.com

* 通讯联系人, E-mail: renjingl@ouc.edu.cn

益严重. 中国是世界上锑矿储量和生产量最大的国家^[8], 随着人为开采和锑矿冶炼的增多, 大量锑及其化合物进入到大气、水和土壤中, 进而进入到动植物和人体中, 对环境和人体健康造成很大的危害, 因此应该加强对锑的生物地球化学循环以及其在环境中的危害的调查与研究. 目前国际上对锑矿周边土壤的污染现状以及其形态分析方法等方面研究较多^[9, 10], 而对天然水体中锑的存在形态、迁移转化机制、生物有效性以及影响因素等方面的研究较为薄弱^[11]. 本研究对 2008 年 5 月浙闽沿岸海域总溶解态无机锑的分布特征以及影响因素等进行了初步分析, 揭示了该区域溶解态无机锑的源, 以为该区域的生态研究和海洋资源环境保护提供基础资料.

1 材料与方法

1.1 调查水域概况

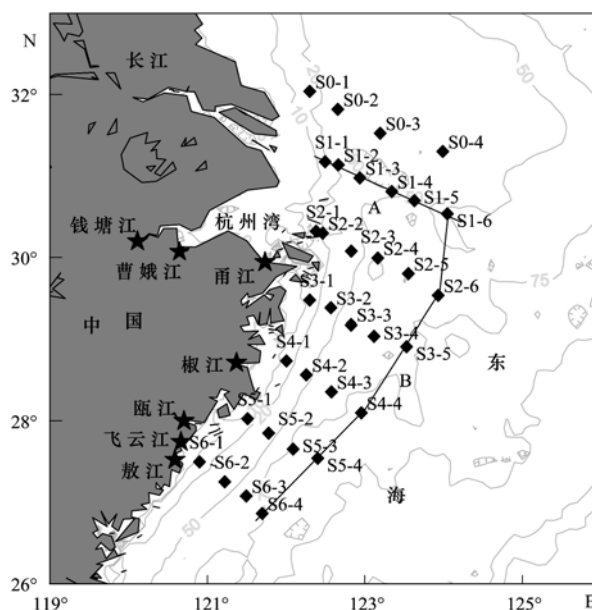
浙闽沿岸海域具有极其丰富的海洋资源, 是我国最大的近海渔场——舟山渔场所在海域, 位于长江口以南、台湾海峡以北的东海近岸区域, 海岸线较复杂, 沿岸港湾繁多, 从南往北的港湾主要有温州湾、乐清湾、三门湾、象山港、杭州湾等, 注入该海域的河流主要有长江、钱塘江和闽江等^[12]. 浙闽沿岸海域主要受长江冲淡水、黑潮水、浙闽沿岸流以及台湾暖流等多种水团的影响^[13]. 于 2008 年 5 月 12 ~ 21 日利用“北斗”号科学考察船采集水样, 采样站位如图 1 所示. 此外, 图中还给出了 2007 年 5 月浙闽沿岸海域的主要入海河流采样站位, 采样点距入海口约 10 ~ 15 km, 包括钱塘江、曹娥江、甬江、椒江、瓯江、飞云江和敖江.

1.2 分析方法

海水样品用洁净 Niskin 采水器按温、盐剖面进行采集, 河流样品用 1 L 采样瓶于船首逆流方向采集, 样品瓶在使用前均用 1:5 的 HCl 浸泡一周左右, 取出后依次用蒸馏水和 Milli-Q 水冲洗干净, 然后装入双层洁净塑料袋中备用. 样品采集后立即在简易的洁净实验工作台上用处理过的 Nalgene 滤器和 0.45 μm 的醋酸纤维膜 (经 pH = 2 的 HCl 浸泡, Milli-Q 水洗至中性) 过滤, 过滤后的样品装于洁净的聚乙烯瓶中, -20℃ 冷冻保存.

采用氢化物发生原子荧光光谱法测定样品中的总溶解态无机锑 (TDSi), 该方法是在 1 mol·L⁻¹ 的 HCl 介质中, 海水中的无机锑先被预还原剂硫脲-抗坏血酸还原为 Sb³⁺, 然后被 KBH₄ 还原为 SbH₃, 最后进入原子荧光光谱仪测定. 此方法的检出限为

0.024 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$, 对 0.3 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 0.03 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 的样品分析的精密密度分别为 2.0% 和 1.9%^[14], 该方法的回收率为 93.7% ~ 105%.



★ 代表 2007 年 5 月浙闽沿岸河流采样点

图 1 2008 年 5 月浙闽沿岸海域采样站位

Fig. 1 Sampling stations in the coastal area of Zhejiang and Fujian in May 2008

2 结果与讨论

2.1 浙闽沿岸海域总溶解态无机锑的含量及平面分布

表 1 给出了 2008 年 5 月浙闽沿岸海域表、底层的温度、盐度、SPM 以及 TDSi 的含量, 表 2 给出了其他海区、大洋中 TDSi 的浓度. 通过对比表 1 和表 2 可以看出, 浙闽沿岸海域 TDSi 的浓度与长江口及邻近海域相当, 比受人为因素影响较为显著的长江流域及渤海等明显偏低, 而与世界开阔大洋的浓度相比则较高, 这主要是因为浙闽沿岸海域受到了人为活动影响较大的长江冲淡水、浙闽沿岸流等陆源物质输入的影响. 世界大洋中总溶解态无机锑的浓度较低, 基本属于自然状态.

图 2 给出了浙闽沿岸海域表层和底层的温度、盐度、SPM 以及 TDSi 的大面分布. 分布图利用 Surfer 8.0 软件绘制, 数据差分方法采用 Kriging 法. 综合表 1 和图 2 可知, 在长江口邻近海域表现为低温、低盐、高浊度, 说明受到长江冲淡水的影响. 随着离岸距离的增加, 长江冲淡水的影响减弱, 温度、盐度逐渐升高, 浊度降低. 在研究区域南部的温度、盐度显著高于北部, 说明在南部受到高温、高盐的

台湾暖流的影响,而在东南方向则受到低温、高盐的黑潮水入侵的影响^[23]. SPM 含量的变化范围较大,其浓度由近岸向外海迅速降低,且底层含量明显高于表层,最高值出现在长江口及杭州湾口附近的 S2-1 站位的底层,表明其分布受长江等河流的陆源输入及沉积物再悬浮的影响较为显著.

TDISb 浓度的变化与盐度的变化特征相反,在长江口及杭州湾口达到最大值,且表层含量明显高

于底层,说明长江冲淡水、浙闽沿岸流等陆源输入对锑的分布有一定的影响. 在长江冲淡水作用下,TDISb 浓度从长江口向东南方向呈梯度降低,在东南部的 S5-3 和 S5-4 站位达到最低值,分别为 $0.68 \text{ nmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $0.71 \text{ nmol} \cdot \text{L}^{-1}$,研究区域南部 TDISb 的浓度要低于北部,结合前面水团的分析可知,研究区域的南部受到低浓度的台湾暖流和黑潮水入侵的影响.

表 1 2008 年 5 月浙闽沿岸海域温度、盐度、SPM 及总溶解态无机锑的浓度¹⁾

位置	温度/℃	盐度	SPM/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	TDISb/ $\text{nmol} \cdot \text{L}^{-1}$
表层	15.9 ~ 25.1 (19.8 ± 2.4)	25.2 ~ 34.1 (31.2 ± 2.8)	4.1 ~ 170.4 (14.2 ± 30.0)	0.68 ~ 5.64 (2.25 ± 1.22)
底层	13.5 ~ 23.1 (18.3 ± 2.0)	26.4 ~ 34.4 (32.9 ± 2.0)	5.1 ~ 700.3 (40.4 ± 121.4)	0.71 ~ 5.25 (1.79 ± 1.14)

1) 括号内为平均值 ± 标准偏差

表 2 其他海区、大洋中总溶解态无机锑的浓度¹⁾

海区	调查时间	TDISb/ $\text{nmol} \cdot \text{L}^{-1}$	参考文献
长江口及邻近海域	2009 年 5 月	(4.06)	[15]
长江流域(宜昌以下)	2008 年 1 月	2.88 ~ 11.98 (8.60 ± 3.63)	实验室未发表数据
渤海	2008 年 4 月	2.24 ~ 10.74	[16]
黑海	1988 年 6 月	0.07 ~ 1.58 (0.65 ± 0.31)	[17]
波罗的海	1981 年 6 月	0.15 ~ 0.87	[18]
北海	1983 年 7 月	0.41 ~ 3.12	[19]
西地中海	1990 年 4 月	1.24 ~ 1.42 (1.34 ± 0.04)	[20]
东大西洋	1992 年 2 月	1.17 ~ 1.93 (1.48 ± 0.17)	[21]
	1990 年 3 ~ 4 月	(1.12 ± 0.25)	
南大西洋	1990 年 3 ~ 4 月	(1.18 ± 0.09)	[4, 22]
北大西洋	1993 年 8 ~ 9 月	表层: (1.87 ± 0.38)	[22]

1) 括号内为平均值 ± 标准偏差

2.2 浙闽沿岸海域总溶解态无机锑的断面分布

图 3 给出断面 A(自长江口向东南方向延伸的断面)温度、盐度、SPM 以及 TDISb 的分布,以讨论长江冲淡水对研究区域 TDISb 分布的影响. 温度、盐度的变化趋势相似,均是在近岸较低,随着离岸距离的增加而增加,在 S1-4 站位达到最高值,然后呈逐渐降低的趋势,说明近岸主要受到长江冲淡水的影响,而在 S1-4 站位附近区域受到明显的高温、高盐水团涌升的影响. 根据文献[23]确定的以 31.0 等盐线所包络的海域面积作为长江冲淡水的影响范围来判断,调查期间长江冲淡水仅对靠近长江口的 S1-1、S1-2 站位影响较大,随后影响逐渐降低. 悬浮颗粒物的含量在近岸区域浓度较高,随着离岸距离的增加迅速下降,且底层含量高于表层. TDISb 的分布在长江口处浓度最高,然后向陆架中部降低,

在 S1-4 站位底层达到最低值,随后逐渐升高. 结合前面水团分析讨论可知,此区域主要受到长江冲淡水和台湾暖流涌升的影响,表明浙闽沿岸海域 TDISb 主要来源于沿岸河流的输送,而源于西边界强流黑潮的台湾暖流中 TDISb 的含量较低,反映了大洋水的性质^[24].

浙闽沿岸海域受到来源于台湾东北部黑潮次表层水入侵陆架的影响,该水团具有低温、高盐(T: 16.0 ~ 23.0, S: 34.0 ~ 34.9)^[25, 26]的特点,选择 B 断面研究黑潮次表层水对陆架区域 TDISb 分布的影响. 由图 3 可知,温度、盐度分布的总体趋势是从南面的 S6-4 站位向北面的 S1-6 站位逐渐降低,温度由底层到表层有逐渐升高的趋势,而盐度的变化与温度相反,说明黑潮次表层水是从研究区域的东南部入侵,然后向北面扩展. 悬浮颗粒物的含量在此

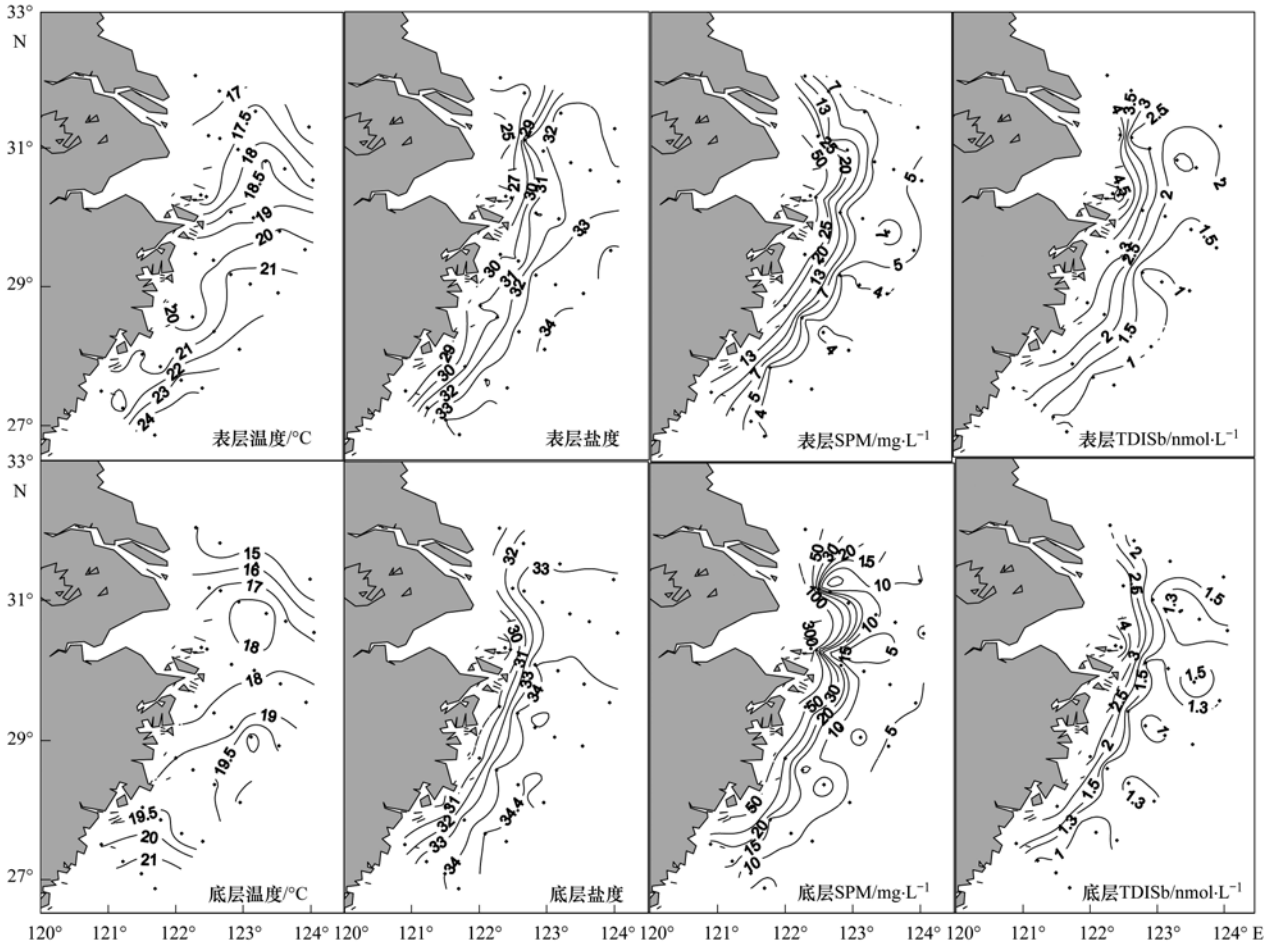


图2 浙闽沿岸海域温度、盐度、SPM及TDISb平面分布

Fig. 2 Horizontal distributions of temperature, salinity, SPM and TDISb in the coastal area of Zhejiang and Fujian

断面呈明显的梯度分布,由表层向底层逐渐升高,说明底层受到沉积物再悬浮的影响。TDISb 的分布特征与温度、盐度的分布相反,受低含量锑的黑潮次表层水入侵的影响,南部 TDISb 的浓度明显低于北部,在 S6-4 站位的底层达到最低值,浓度为 0.90 nmol·L⁻¹。

2.3 浙闽沿岸海域总溶解态无机锑分布的影响因素

2.3.1 水团混合对总溶解无机锑分布的影响

浙闽沿岸流和黑潮是浙闽沿岸海域的控制性海流系统^[25, 27],其中浙闽沿岸流起源于杭州湾和长江口一带,主要由长江和钱塘江的入海径流组成,其次还有甬江、瓯江、飞云江以及曹娥江等河流。表 3 给出了浙闽沿岸主要河流的年均径流量和 TDISb 的浓度(浙江水文-水文志, 2003),由此粗略估算浙闽沿岸海域各河流 TDISb 的年输送量。从中可知,浙闽沿岸河流输送的 TDISb 中 95% 来源于长江径流,是研究区域溶解态锑的主要来源,而长江流域是我国的锑矿储地,矿物燃料的燃烧及锑矿工业废水的

排放等人为活动造成其含量及输送量较大^[28, 29],其他河流对浙闽沿岸 TDISb 分布的影响相对较小。

表3 浙闽沿岸主要入海河流的 TDISb 浓度、
年均径流量和入海通量

Table 3 Concentrations of TDISb, the mean annual discharge and fluxes into the sea of the main rivers in the coastal area of Zhejiang and Fujian

河流	TDISb /nmol·L ⁻¹	径流量×10 ⁹ /m ³ ·a ⁻¹	通量×10 ⁹ /mg·a ⁻¹
长江	10.14	924.8	1141.2
钱塘江	6.64	44.1	35.6
曹娥江	5.01	4.5	2.7
甬江	5.44	2.7	1.8
椒江	3.73	6.9	3.1
瓯江	1.52	19.6	3.6
飞云江	1.50	4.0	0.7
鳌江	1.39	2.0	0.3

在河口及近岸海区盐度可以有效地表征淡水的影响程度,通过盐度与 TDISb 浓度的相关关系可以讨论不同水团混合对溶解态锑分布的影响。由图 4

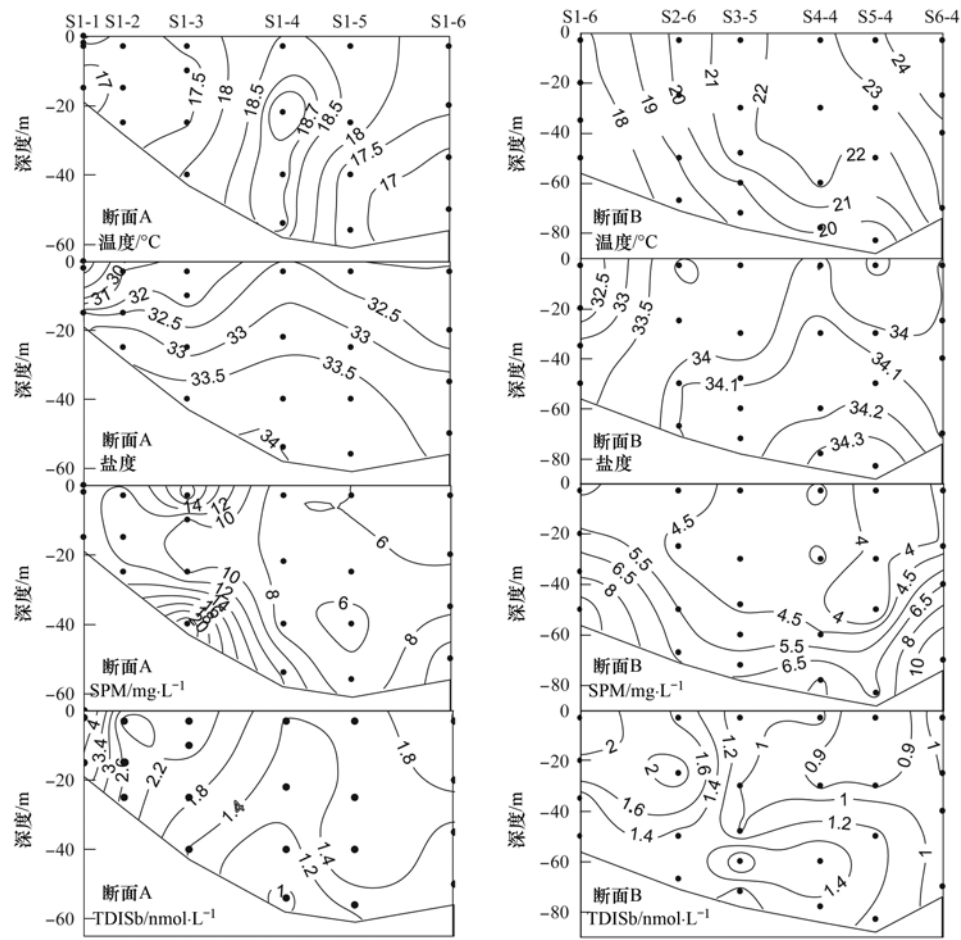
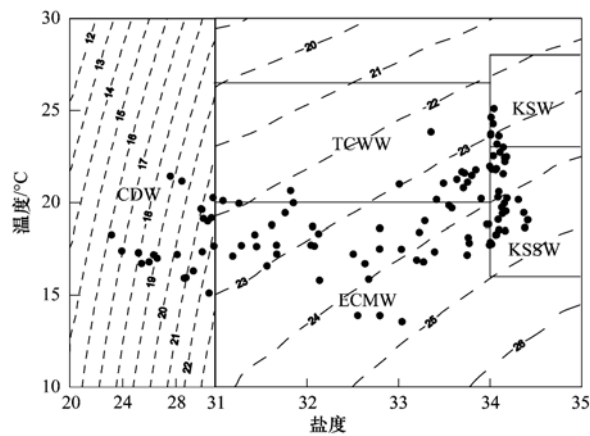


图3 断面A和断面B温度、盐度、SPM以及总溶解态无机锑的断面分布

Fig. 3 Vertical distributions of temperature, salinity, SPM and TDISb at section A and section B



CDW:长江冲淡水,TCWW:台湾暖流,KSW:黑潮表层水,
KSSW:黑潮次表层水,ECMW:东海陆架混合水

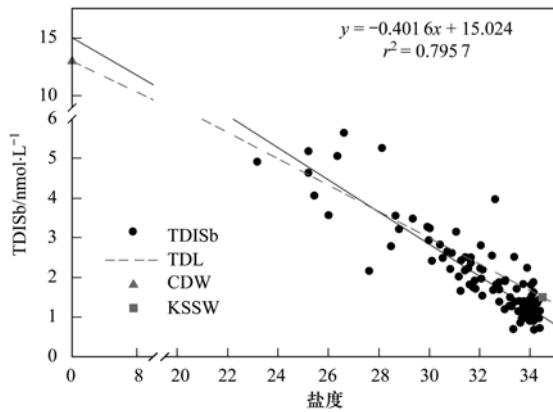
图4 浙闽沿岸海域的T-S点聚图

Fig. 4 Plot of temperature-salinity in the coastal area
of Zhejiang and Fujian

可以看出浙闽沿岸海域存在多个水团,包括长江冲淡水(CDW)、台湾暖流(TCWW)、黑潮表层水(KSW)、黑潮次表层水(KSSW)以及东海陆架混合

水(ECMW)等^[23, 26]. 文献[30]的结果表明,春季入侵长江口外的高盐水主要来自台湾东北部的黑潮次表层水. 如果仅考虑水团的物理混合,以 $12.99\text{ nmol}\cdot\text{L}^{-1}$ (2012年5月长江徐六泾采集样品,实验室未发表数据)和 $1.27\text{ nmol}\cdot\text{L}^{-1}$ (2011年5月东海黑潮区样品,实验室未发表数据)分别作为长江冲淡水和黑潮次表层水端元的TDISb浓度,它们的连线即为理论稀释线(图5). 从图5中看出,总溶解态无机锑与盐度呈现出较为明显的负相关关系,说明该区域溶解态锑的行为是近似保守的,但是个别观测点相对理论稀释线有明显的偏高或偏低现象,说明该区域存在其他的溶解态无机锑的源或汇,具体原因见下节讨论.

利用水团的物理混合估算研究区域TDISb的浓度^[31, 32],由上文讨论可知,假定影响研究区域的水团主要是长江冲淡水和黑潮次表层水,两水团端元的盐度和TDISb浓度(长江冲淡水, $S_{\text{CDW}}=0$, $c_{\text{TDISb}}=12.99\text{ nmol}\cdot\text{L}^{-1}$ 黑潮次表层水, $S_{\text{KSSW}}=34.7$, $c_{\text{KSSW}}=$



TDL: 理论稀释线, CDW: 长江冲淡水端元,

KSSW: 黑潮次表层水端元

图5 浙闽沿岸海域总溶解态无机锑与盐度的关系

Fig. 5 Relationship of TDISb with salinity in the coastal area of Zhejiang and Fujian

1. $27 \text{ nmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 依据计算公式 $S_a = S_{\text{CDW}}x + S_{\text{KSSW}}y$ 得出 x 和 y 值, 其中 S_a 为实际盐度, x 、 y 分别代表长江冲淡水和黑潮次表层水在水团混合中所占比例, 再根据公式 $c_e = c_{\text{TDISb}}x + c_{\text{KSSW}}y$ 估算出该区域 TDISb 的浓度, 计算结果如图 6 所示. 从中可明显的看出, 估算结果与实测结果的分布趋势基本吻合, 都表现出近岸浓度较高, 随着离岸距离的增加含量逐渐降低的分布特点, 但在近岸区域 TDISb 浓度估算结果偏低, 远岸区域估算结果偏高, 说明该区域溶解态无机锑的分布除了主要受到长江冲淡水和黑潮次表层水的水团混合影响以外, 还存在其他影响因素.

2.3.2 其他因素对溶解态无机锑分布的影响

锑不是植物生长的必需元素, 甚至具有一定的生态毒性, 但已有研究结果证明锑能够被植物体和农作物以不同的形式吸收^[3, 33], 而且也有研究发现锑参与了生物循环^[18, 34~36]. 2008 年 5 月航次调查

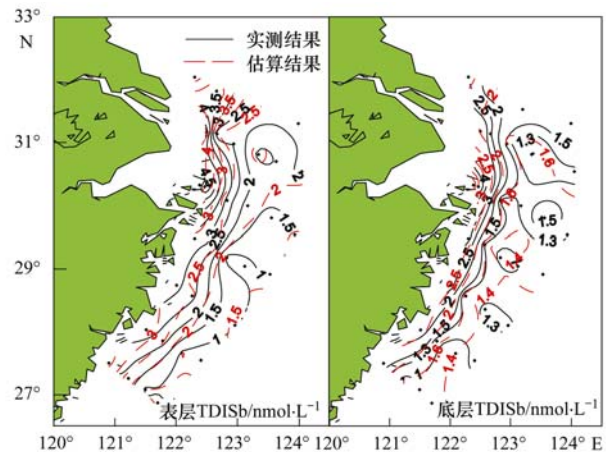


图6 浙闽沿岸海域 TDISb 的估算结果与实测结果比较

Fig. 6 Comparison of the estimated and actual results of TDISb concentrations in the coastal area of Zhejiang and Fujian

中在邻近长江口及沿岸区域观测到明显的水华过程, 由浮游植物水华区 $(c_a - c_e)/c_e$ 比值 (c_a : 实际观测浓度, c_e : 估算浓度) 与磷酸盐的关系 [图 7(a)] 可知当磷酸盐含量较高时, 实测结果与估算值较为一致, 而当磷酸盐含量较低时, 实测值低于估算值, 说明溶解态锑在磷酸盐含量较低时可能存在潜在的吸收, 这可能是由锑与磷位于同一主族结构相似造成的^[37], 具体生物活动影响机制尚需进一步深入研究.

悬浮颗粒物在水体中的吸附解吸过程也可能影响水体中溶解态无机锑的分布^[15], 图 7(b) 给出了底层水体中 $(c_a - c_e)/c_e$ 比值与 SPM 的关系, 从中可以看出, 当 SPM 含量较高时, 锑实测浓度稍高于估算浓度, 而当 SPM 含量较低时, 实测浓度低于估算浓度. 这说明悬浮颗粒物的吸附解吸过程对水体中溶解态锑的行为影响较为复杂, 在高浊度时水体中颗粒物是溶解态锑的源, 而在低浊度时则变为汇.

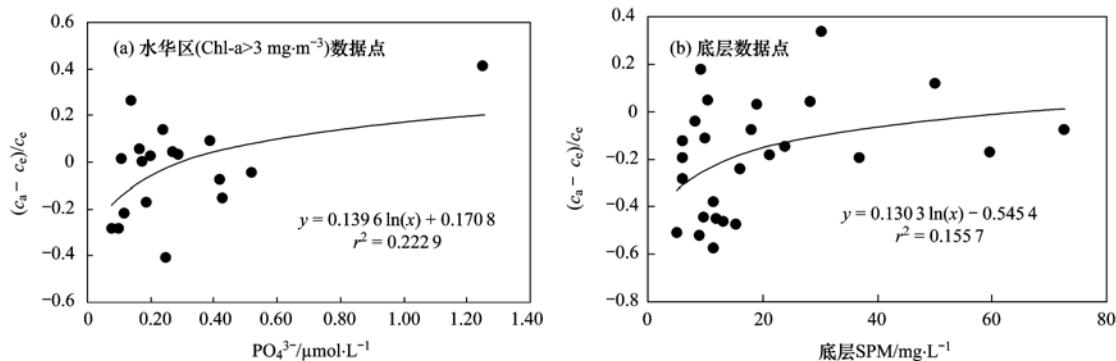


图7 TDISb 的估算偏差与 PO_4^{3-} 和 SPM 含量之间的关系

Fig. 7 Relationships of $(c_a - c_e)/c_e$ ratio with the concentrations of PO_4^{3-} and SPM

3 结论

(1) 2008 年 5 月浙闽沿岸海域表、底层总溶解态无机锑的平均含量分别为 $(2.25 \pm 1.22) \text{ nmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $(1.79 \pm 1.14) \text{ nmol} \cdot \text{L}^{-1}$, 近岸较高, 随着离岸距离增加含量降低, 表层含量高于底层。

(2) 浙闽沿岸海域溶解态无机锑的行为大体上是保守的, 影响该区域总溶解态无机锑分布的主要因素是水团混合, 同时还受到生物活动以及悬浮颗粒物吸附解吸的影响。

(3) 浙闽沿岸海域 TDISb 浓度低于 USEPA (美国环境保护署) 锑的标准值^[38]、我国地表水环境质量和世界卫生组织规定的饮用水水质标准, 表明研究海域受人为活动扰动的影响较小, 基本处于原始水平, 但由于受到河流陆源物质输入的影响, 浓度比大洋高。

致谢: 本航次的野外采样工作得到了华东师范大学河口海岸学国家重点实验室、国家海洋局第二海洋研究所老师和同学的大力支持, 中国海洋大学海洋生物地球化学实验室成员对实验研究提供了无私的帮助, 在此向他们表示衷心的感谢!

参考文献:

- [1] 季海兵, 何孟常, 赵承易. 环境中锑的形态分析研究进展[J]. 分析化学, 2003, **31**(11): 1393-1398.
- [2] Brewer P G, Spencer D W. Trace element profiles from the Geosecs-II test station in the Sargasso Sea [J]. Earth and Planetary Science Letters, 1972, **16**(1): 111-116.
- [3] Filella M, Belzile N, Chen Y W. Antimony in the environment: a review focused on natural waters I. Occurrence [J]. Earth-Science Reviews, 2002, **57**(1-2): 125-176.
- [4] Shotyk W, Klachler M, Chen B. Antimony: global environmental contaminant [J]. Journal of Environmental Monitoring, 2005, **7**(12): 1135-1136.
- [5] 何孟常, 万红艳. 环境中锑的分布、存在状态及毒性和生物有效性[J]. 化学进展, 2004, **16**(1): 131-135.
- [6] 刘立华, 贾静娴, 刘会媛, 等. 立方晶型三氧化二锑的制备及其对软质 PVC 阻燃性能的研究[J]. 化工科技市场, 2009, **32**(7): 35-36.
- [7] 刘立华. 三氧化二锑阻燃剂的制备及表面改性研究[J]. 化工科技市场, 2010, **33**(11): 24-26.
- [8] 何孟常, 万红艳. 环境中锑的分布、存在形态及毒性和生物有效性[J]. 化学进展, 2004, **16**(1): 131-135.
- [9] 何孟常, 季海兵, 赵承易, 等. 锑矿区土壤和植物中重金属污染初探[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2002, **38**(3): 417-420.
- [10] Ainsworth N, Cooke J A, Johnson M S. Distribution of antimony in contaminated glass: 1-vegetation and soils [J]. Environmental Pollution, 1990, **65**(1): 65-77.
- [11] Filella M, Belzile N, Chen Y W. Antimony in the environment: a review focused on natural waters II. Relevant solution chemistry [J]. Earth-Science Reviews, 2002, **59**(1-4): 265-285.
- [12] Wu Y, Zhang J, Li D J, et al. Isotope variability of particulate organic matter at the PN section in the East China Sea [J]. Biogeochemistry, 2003, **65**(1): 31-49.
- [13] 李凤岐, 苏育嵩. 海洋水团分析[M]. 青岛: 青岛海洋大学出版社, 2000. 362-373.
- [14] 万玉霞, 任景玲. 原子荧光光度法测定天然水体中的Sb(V)和Sb(III) [J]. 海洋科学, 2011, **35**(4): 37-43.
- [15] Wu X D, Song J M, Li X G, et al. Behaviors of dissolved antimony in the Yangtze River estuary and its adjacent waters [J]. Journal of Environmental Monitoring, 2011, **13**(8): 2292-2303.
- [16] Duan L Q, Song J M, Li X G, et al. The behaviors and sources of dissolved arsenic and antimony in Bohai Bay [J]. Continental Shelf Research, 2010, **30**(14): 1522-1534.
- [17] Cutter G A. Dissolved arsenic and antimony in the Black Sea [J]. Deep-Sea Research, 1991, **38**(2): S825-S843.
- [18] Andreae M O, Froelich P N. Arsenic, antimony, and germanium biogeochemistry in the Baltic Sea [J]. Tellus, 1984, **36B**(2): 101-117.
- [19] Gillain G, Brihaye C. A routine speciation method for a pollution survey of coastal sea water [J]. Oceanologica Acta, 1985, **8**(2): 231-235.
- [20] Takayanagi K, Cossa D, Martin J M. Antimony cycling in the western Mediterranean [J]. Marine Chemistry, 1996, **54**(3): 303-312.
- [21] Cutter G A, Cutter L S. Behavior of dissolved antimony, arsenic, and selenium in the Atlantic Ocean [J]. Marine Chemistry, 1995, **49**(4): 295-306.
- [22] Cutter G A, Cutter L S. Metalloids in the high latitude North Atlantic Ocean: Sources and internal cycling [J]. Marine Chemistry, 1998, **61**(1-2): 25-36.
- [23] 苏纪兰, 袁立业. 中国近海水文[M]. 北京: 海洋出版社, 2005. 167-249.
- [24] Cutter G A, Cutter L S. Biogeochemistry of arsenic and antimony in the North Pacific Ocean [J]. Geochemistry, Geophysics, Geosystems, 2006, **7**(5): Q05M08, doi: 10.1029/2005GC001159.
- [25] 张启龙, 翁学传. 应用对应分析法划分夏季东海水团的初步研究[J]. 海洋科学, 1958, **2**(9): 14-18.
- [26] 李凤岐, 王凤钦, 苏育嵩, 等. 黄、东海域春季水团的划分、判别与分析[J]. 青岛海洋大学学报, 1989, **19**(1): 22-34.
- [27] 孙湘平. 中国近海区域海洋[M]. 北京: 海洋出版社, 2006. 276-280.
- [28] 张国林, 姚金炎, 谷相平. 中国锑矿床类型及时空分布规律[J]. 矿产与地质, 1998, **12**(5): 306-312.
- [29] He M, Wang X, Wu F, et al. Antimony pollution in China [J]. Science of the Total Environment, 2012, **421-422**: 41-50.
- [30] 谷国传, 胡方西, 胡辉, 等. 长江口外高盐入侵分析[J].

- 东海海洋, 1994, **12**(3): 1-11.
- [31] Ren J L, Zhang J, Li J B. Dissolved aluminum in the Yellow Sea and East China Sea-Al as a tracer of Changjiang (Yangtze River) discharge and kuroshio incursion [J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2006, **68**(1-2): 165-174.
- [32] 李发明, 任景玲, 张国玲, 等. 闽浙沿海岸域溶解态铝的分布及其影响因素[J]. 海洋学报, 2012, **34**(2): 63-71.
- [33] Tschan M, Robinson B H, Nodari M, *et al.* Antimony uptake by different plant species from nutrient solution, agar and soil [J]. Environmental Chemistry, 2009, **6**(2): 144-152.
- [34] Maeda S, Fukuyama H, Yokoyama E, *et al.* Bioaccumulation of antimony by *Chlorella vulgaris* and the association mode of antimony in the cell [J]. Applied Organometallic Chemistry, 1997, **11**(5): 393-396.
- [35] Baroni F, Boscagli A, Protano G, *et al.* Antimony accumulation in *Achillea ageratum*, *Plantago lanceolata* and *Silene vulgaris* growing in an old Sb-mining area [J]. Environmental Pollution, 2000, **109**(2): 347-352.
- [36] Hozhina E I, Khramov A A, Gerasimov P A, *et al.* Uptake of heavy metals, arsenic, and antimony by aquatic plants in the vicinity of ore mining and processing industries [J]. Journal of Geochemical Exploration, 2001, **74**(1-3): 153-162.
- [37] Adriano D C. Trace elements in terrestrial environments: biogeochemistry, bioavailability, and risks of metals [M]. New York: Springer, 2001. 759-761.
- [38] USEPA. National Primary Drinking water Standards [S]. USEPA, Office of Water Washington DC, USA. Doc. 810-F-94-001, 1999.

CONTENTS

Form of the Particulate Matter Ambient Air Standards in China	WANG Shuai, DING Jun-nan, WANG Rui-bin, <i>et al.</i> (401)
Seasonal Variation of Carcinogenic Heavy Metals in PM _{2.5} and Source Analysis in Beijing	TAO Jun, ZHANG Ren-jian, DUAN Jing-chun, <i>et al.</i> (411)
Temporal and Spatial Distribution of PM _{2.5} and PM ₁₀ Pollution Status and the Correlation of Particulate Matters and Meteorological Factors During Winter and Spring in Beijing	ZHAO Chen-xi, WANG Yun-qi, WANG Yu-jie, <i>et al.</i> (418)
Inversion and Spatial-Temporal Distribution Analysis on PM _{5.0} Inhalable Particulate in Beijing	WANG Yan-hui, XIAO Yao (428)
Characterization of Ultrafine Particle Size Distribution in the Urban Atmosphere of Hangzhou in Spring	XIE Xiao-fang, SUN Zai, YANG Wen-jun (436)
Size Distributions of Aerosol During the Spring Festival in Nanjing	WANG Hong-lei, ZHU Bin, SHEN Li-juan, <i>et al.</i> (442)
Size Distributions of Organic Carbon and Elemental Carbon in Nanjing Aerosol Particles	WU Meng-long, GUO Zhao-bing, LIU Feng-ling, <i>et al.</i> (451)
Characterization of Organic and Elemental Carbon in PM ₁₀ in Xinzhou City	SHI Mei-xian, PENG Lin, LIU Xiao-feng, <i>et al.</i> (458)
Seasonal Variation of Concentrations and Distribution Characteristics of PCDD/Fs in Atmosphere of an Industrial Area, Guangzhou	QING Xian, SU Yuan, SU Qing, <i>et al.</i> (464)
Hazard Evaluation Modeling of Particulate Matters Emitted by Coal-Fired Boilers and Case Analysis	SHI Yan-ting, DU Qian, GAO Jian-min, <i>et al.</i> (470)
Chemical Characteristics of Precipitation in South China Sea	XIAO Hong-wei, LONG Ai-min, XIE Lu-hua, <i>et al.</i> (475)
Analysis of Acid Rain Characteristics of Lin'an Regional Background Station Using Long-term Observation Data	LI Zheng-quan, MA Hao, MAO Yu-ding, <i>et al.</i> (481)
Characteristics of Atmospheric Nitrogen Wet Deposition in Beijing Urban Area	HE Cheng-wu, REN Yu-fen, WANG Xiao-ke, <i>et al.</i> (490)
Studies of Ozone Formation Potentials for Benzene and Ethylbenzene Using a Smog Chamber and Model Simulation	JIA Long, XU Yong-fu (495)
Characteristics of Fly Ash Particles Deposition in the Snowpack of Laohugou Glacier No. 12 in Western Qilian Mountains, China	DONG Zhi-wen, QIN Da-he, QIN Xiang, <i>et al.</i> (504)
Odor Emission Rate of Municipal Solid Waste from Landfill Working Area	QIANG Ning, WANG Hong-yu, ZHAO Ai-hua, <i>et al.</i> (513)
Gaseous Phenol Removal in a Bio-Trickling Filter	HE Jue-cong, HUANG Qian-ru, CHEN Zhou-yang, <i>et al.</i> (520)
Particulate Distribution Characteristics of Chinese Phrase V Diesel Engine Based on Butanol-Diesel Blends	LOU Di-ming, XU Ning, FAN Wen-jia, <i>et al.</i> (526)
Effects of Turning Frequency on Emission of Greenhouse Gas and Ammonia During Swine Manure Windrow Composting	ZHAO Chen-yang, LI Hong-mei, WEI Yuan-song, <i>et al.</i> (533)
Oxidation of Mercury by CuBr ₂ Decomposition Under Controlled-Release Membrane Catalysis Condition	HU Lin-gang, QU Zan, YAN Nai-qiang, <i>et al.</i> (541)
Distributions and Influencing Factors of Total Dissolved Inorganic Antimony in the Coastal Area of Zhejiang and Fujian	ZHANG Xu-zhou, REN Jing-ling, LIU Zong-guang, <i>et al.</i> (547)
Calculation of Allowable Pollution Loads for Lake and Reservoir Based on Bi-direction Algorithm and Its Case Study	JIA Hai-feng, GUO Yu (555)
Risk Assessment of Quaternary Groundwater Contamination in Beijing Plain	GUO Gao-xuan, LI Yu, XU Liang, <i>et al.</i> (562)
Mixing Behavior of Nutrients in Different Seasons at Liaohe Estuary	ZHANG Jin-hua, YU Li-xia, YAO Qing-zhen, <i>et al.</i> (569)
Distribution of Nitrogen in the Sediment of Taige South River Estuary	MA Jiu-yuan, WANG Guo-xiang, LI Zhen-guo, <i>et al.</i> (577)
Selection and Purification Potential Evaluation of Woody Plant in Vertical Flow Constructed Wetlands in the Subtropical Area	CHEN Yong-hua, WU Xiao-fu, HAO Jun, <i>et al.</i> (585)
Correlation of Substrate Structure and Hydraulic Characteristics in Subsurface Flow Constructed Wetlands	BAI Shao-yuan, SONG Zhi-xin, DING Yan-li, <i>et al.</i> (592)
Impacts of <i>Eichhornia crassipes</i> (Mart.) Solms Stress on the Growth Characteristics, Microcystins and Nutrients Release of <i>Microcystis aeruginosa</i>	ZHOU Qing, HAN Shi-qun, YAN Shao-hua, <i>et al.</i> (597)
Effects of Different Pre-oxidants on DBPs Formation Potential by Chlorination and Chloramination of Yangtze River Raw Water	TIAN Fu-xiang, XU Bin, RONG Rong, <i>et al.</i> (605)
Adsorption of Phenanthrene from Aqueous Solution on Cetylpyridinium Bromide (CPB)-Modified Zeolite	LI Jia, LIN Jian-wei, ZHAN Yan-hui, <i>et al.</i> (611)
Characteristics and Selectivity of Photocatalytic-Degradation of Tetracycline Hydrochloride	SONG Chen-yi, YIN Da-qiang (619)
Characterization of Biocatalysed Sulfate Reduction in a Cathode of Microbial Electrolysis System	FU Shi-yu, LIU Guang-li, LUO Hai-ping, <i>et al.</i> (626)
Characteristics of Dissolved Organic Matter in A/DAT-IAT System for Municipal Wastewater Treatment Based on Ecological Safety	YANG Sai, ZHOU Qi-xing, HUA Tao (633)
Membrane Surface Fouling Properties in MBRs for High-Salinity Wastewater Treatment	LI Bin, WANG Zhi-wei, AN Ying, <i>et al.</i> (643)
Treatment of Petrochemical Secondary Effluent by Ozone-biological Aerated Filter	LIU Ming-guo, WU Chang-yong, ZHOU Yue-xi, <i>et al.</i> (651)
Treatment of Pectin Wastewater by Anaerobic Biological Process	CHEN Bing-bing, YANG Chun-ping, LI Xiang, <i>et al.</i> (657)
Sorption Mechanism of Ofloxacin by Carbon Nanotubes	ZHAO Xing-xing, YU Shui-li, WANG Zhe (663)
Biosorption Characteristics of Cu ²⁺ by Spent Substrate of <i>Pleurotus</i> Oyster	HU Xiao-jing, ZANG Ting-ting, GU Hai-dong, <i>et al.</i> (669)
Adsorption Dynamics and Breakthrough Characteristics Based on the Fluidization Condition	WANG Jun, WANG Yao, HUANG Xing, <i>et al.</i> (678)
Characteristics of Speciation and Evaluation of Ecological Risk of Heavy Metals in Sewage Sludge of Guangzhou	GUO Peng-ran, LEI Yong-qian, CAI Da-chuan, <i>et al.</i> (684)
Spatial Distribution and Accumulation of Heavy Metal in Arable Land Soil of China	ZHANG Xiao-min, ZHANG Xiu-ying, ZHONG Tai-yang, <i>et al.</i> (692)
Pollution Patterns and Health Risk Assessment for Polychlorinated Biphenyls in Soils from a Capacitor Storage Site	ZHOU Ling-li, WU Guang-long, XUE Nan-dong, <i>et al.</i> (704)
Occurrence and Spatial Differentiation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Surface Soils from Shenzhen, China	ZHANG Di, CAO Shan-ping, SUN Jian-lin, <i>et al.</i> (711)
Risk Assessment and Countermeasures of Heavy Metals Pollution in Wanquan Segment of Yanghe River	TAN Bing, WANG Tie-yu, ZHU Zhao-yun, <i>et al.</i> (719)
Effects of Group Matching Curing Agent on Exchangeable Pb, Cd, Zn Contents in the Potted Soils and their Accumulation in Rice Plants	ZENG Hui, ZHOU Hang, QIU Qiong-yao, <i>et al.</i> (727)
Impact of Compound Chelants on Removal of Heavy Metals and Characteristics of Morphologic Change in Soil from Heavy Metals Contaminated Sites	YIN Xue, CHEN Jia-jun, LÜ Ce (733)
Characterization of Manganese Oxidation by <i>Pseudomonas</i> sp. QJX-1	ZHOU Na-na, BAI Yao-hui, LIANG Jin-song, <i>et al.</i> (740)
Effects of the Ratio of NO ₃ ⁻ -N to NO ₂ ⁻ -N on the Removal of Sulfide and Nitrogen by Mixed Culture and Pure Culture	CHEN Zi-ai, CHEN Hui-juan, WEI Ben-ping, <i>et al.</i> (746)
Carbon Metabolic Characteristics of Airborne Microbes in Hangzhou	GONG Chan-juan, XU Jing, FANG Zhi-guo, <i>et al.</i> (753)
Study on the Backward Extraction of Cellulase in Rhammolid Reverse Micelles	ZHAO Yan-ge, YUAN Xing-zhong, HUANG Hua-jun, <i>et al.</i> (759)
Inner- and Inter-Species Differences of Mercury Concentration in Common Fishes from the Yellow Sea	ZHU Ai-jia, XU Zhan-zhou, LIU Gui-ze, <i>et al.</i> (764)
Study on the Effect of Enzymatic Activity and Acute Toxicity of Three PAEs on <i>Eisenia foetida</i>	WANG Yan, MA Ze-min, WU Shi-jin (770)
Environmental Safety Assessment on the New Super Absorbent Polymers Applied into a Soil-Chinese Cabbage System	LI Xi, HE Ji-zheng, ZHENG Yuan-ming, <i>et al.</i> (780)
Study on Dynamics of Hydrogen Sulfide and Carbonyl Sulfide Emission Fluxes from <i>Suaeda salsa</i> Marsh in the Yellow River Estuary	LI Xin-hua, GUO Hong-hai, YANG Li-ping, <i>et al.</i> (786)
Key Microbial Processes in Nitrous Oxide Emissions of Agricultural Soil and Mitigation Strategies	ZHU Yong-guan, WANG Xiao-hui, YANG Xiao-ru, <i>et al.</i> (792)

《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 欧阳自远

副主编: 赵景柱 郝吉明 田 刚

编 委: (按姓氏笔画排序)

万国江 王华聪 王凯军 王绪绪 田 刚 田 静 史培军
朱永官 刘志培 汤鸿霄 陈吉宁 孟 伟 周宗灿 林金明
欧阳自远 赵景柱 姜 林 郝郑平 郝吉明 聂永丰 黄 霞
黄 耀 鲍 强 潘 纲 潘 涛 魏复盛

环 境 科 学

(HUANJING KEXUE)

(月刊 1976年8月创刊)

2014年2月15日 35卷 第2期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 35 No. 2 Feb. 15, 2014

主 管	中国科学院	Superintended	by	Chinese Academy of Sciences
主 办	中国科学院生态环境研究中心	Sponsored	by	Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences
协 办	(以参加先后为序) 北京市环境保护科学研究院 清华大学环境学院	Co-Sponsored	by	Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection School of Environment, Tsinghua University
主 编	欧阳自远	Editor-in -Chief		OUYANG Zi-yuan
编 辑	《环境科学》编辑委员会 北京市2871信箱(海淀区双清路 18号, 邮政编码:100085) 电话:010-62941102, 010-62849343 传真:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn	Edited	by	The Editorial Board of Environmental Science (HUANJING KEXUE) P. O. Box 2871, Beijing 100085, China Tel:010-62941102, 010-62849343; Fax:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn
出 版	科 学 出 版 社 北京东黄城根北街16号 邮政编码:100717	Published	by	Science Press 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷 装 订	北京北林印刷厂	Printed	by	Beijing Bei Lin Printing House
发 行	科 学 出 版 社 电话:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com	Distributed	by	Science Press Tel:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com
订 购 处	全国各地邮电局	Domestic		All Local Post Offices in China
国外总发行	中国国际图书贸易总公司 (北京399信箱)	Foreign		China International Book Trading Corporation (Guoji Shudian), P. O. Box 399, Beijing 100044, China

中国标准刊号: ISSN 0250-3301
CN 11-1895/X

国内邮发代号: 2-821

国内定价: 90.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行