

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第35卷 第1期

Vol.35 No.1

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

雾霾重污染期间北京居民对高浓度 PM _{2.5} 持续暴露的健康风险及其损害价值评估	谢元博, 陈娟, 李巍 (1)
长白山 PM _{2.5} 中水溶性离子季节变化特征研究	赵亚南, 王跃思, 温天雪, 戴冠华 (9)
青岛大气颗粒物数浓度变化及对能见度的影响	柯馨姝, 盛立芳, 孔君, 郝泽彤, 屈文军 (15)
重庆市大气二噁英污染水平及季节变化	张晓岭, 卢益, 朱明吉, 蹇川, 郭志顺, 邓力, 孙静, 张芹, 罗财红 (22)
西南地区再生铝冶炼行业二噁英大气排放	卢益, 张晓岭, 郭志顺, 蹇川, 朱明吉, 邓力, 孙静, 张芹 (30)
西南地区新型干法水泥生产中的二噁英大气排放	张晓岭, 卢益, 蹇川, 郭志顺, 朱明吉, 邓力, 孙静, 张芹 (35)
杭州市办公场所室内空气中 PBDEs 的污染现状与特征	蒋欣慰, 孙鑫, 裴小强, 金漫彤, 李云龙, 沈学优 (41)
模拟不同排放源排放颗粒及多环芳烃的粒径分布研究	符海欢, 田娜, 商惠斌, 张彬, 叶素芬, 陈晓秋, 吴水平 (46)
川东北地区元素大气沉降通量及其季节变化	童晓宁, 周厚云, 游镇烽, 汤静, 刘厚均, 黄颖, 贺海波 (53)
重庆市铁山坪 2001 ~ 2010 年酸沉降变化	余德祥, 马萧萧, 谭炳全, 赵大为, 张冬保, 段雷 (60)
汉江上游金水河流域氮湿沉降	王金杰, 张克荣, 吴川, 张全发 (66)
麦秸及其烟尘中正构脂肪酸的组成	刘刚, 李久海, 吴丹, 徐慧 (73)
兰州市室内大气降尘环境磁学特征及其随高度变化研究	吴铎, 魏海涛, 赵瑞瑞, 张蕊, 刘建宝 (79)
中亚热带针阔混交林土壤-大气界面释汞通量研究	马明, 王定勇, 申源源, 孙荣国, 黄礼昕 (85)
水稻秸秆生物炭对耕地土壤有机碳及其 CO ₂ 释放的影响	柯跃进, 胡学玉, 易卿, 余忠 (93)
黄海和东海海域溶解铋地球化学分布特征	吴晓丹, 宋金明, 吴斌, 李学刚 (100)
浑河上游(清原段)水环境中重金属时空分布及污染评价	马迎群, 时瑶, 秦延文, 郑丙辉, 赵艳民, 张雷 (108)
POCIS 采样技术应用于九龙江流域水环境中雌激素的检测	张利鹏, 王新红, 李永玉, 吴玉玲, 张祖麟 (117)
降雨条件下岩溶地下水微量元素变化特征及其环境意义	陈雪彬, 杨平恒, 蓝家程, 莫雪, 师麟 (123)
锡林河流域地表水水化学主离子特征及控制因素	唐玺雯, 吴锦奎, 薛丽洋, 张明泉, Frauke Barthold, Lutz Breuer, Hans-Georg Frede (131)
子牙河水系河流氮素组成及空间分布特征	赵钰, 单保庆, 张文强, 王超 (143)
水稻种植对中亚热带红壤丘陵区小流域氮磷养分输出的影响	宋立芳, 王毅, 吴金水, 李勇, 李裕元, 孟岑, 李航, 张满意 (150)
黄东海表层沉积物中磷的分布特征	宋国栋, 刘素美, 张国玲 (157)
河流沉积物中有机磷提取剂 (NaOH-EDTA) 提取比例与机制研究	张文强, 单保庆, 张洪, 唐文忠 (163)
沉积物短期扰动下 BAPP 再生和转化机制	武晓飞, 李大鹏, 汪明 (171)
三峡库区典型农村型消落带沉积物风险评价与重金属来源解析	敖亮, 雷波, 王业春, 周谐, 张晟 (179)
太湖东部不同类型湖区疏浚后沉积物重金属污染及潜在生态风险评价	毛志刚, 谷孝鸿, 陆小明, 曾庆飞, 谷先坤, 李旭光 (186)
滇池沉积物中主要污染物含量时间分异特征研究	王心宇, 周丰, 伊旋, 郭怀成 (194)
浓度层析荧光光谱局部匹配溢油鉴别技术	王春艳, 史晓凤, 李文东, 张金亮 (202)
光电 Fenton 技术处理污泥深度脱水液研究	王现丽, 王世峰, 吴俊峰, 濮文虹, 杨昌柱, 张敬东, 杨家宽 (208)
同步脱氮除磷颗粒污泥硝化反硝化特性试验研究	刘小英, 林慧, 马兆瑞, 王磊, 刘静伟, 郭超, 姜应和 (214)
垃圾填埋场渗滤液短程生物脱氮的长期稳定性实验研究	孙洪伟, 郭英, 彭永臻 (221)
油田区土壤石油烃组分残留特性研究	胡迪, 李川, 董倩倩, 李立明, 李广贺 (227)
水稻光合同化碳在土壤中的矿化和转化动态	谭立敏, 彭佩钦, 李科林, 李宝珍, 聂三安, 葛体达, 童成立, 吴金水 (233)
土地利用及退耕对喀斯特山区土壤活性有机碳的影响	廖洪凯, 李娟, 龙健, 张文娟, 刘云飞 (240)
水稻土团聚体 Cu ²⁺ 吸附过程中铝的溶出及土壤溶液 pH 变化	许海波, 赵道远, 秦超, 李玉姣, 董长勋 (248)
Cr(VI) 对两种黏土矿物在单一及复合溶液中 Cu(II) 吸附的影响	刘娟娟, 梁东丽, 吴小龙, 屈广周, 钱勋 (254)
淹水时长对 3 种丛枝菌根 (AM) 真菌感染 2 种湿地植物的影响	马雷猛, 王鹏腾, 王曙光 (263)
太湖水质与水生生物健康的关联性初探	周笑白, 张宁红, 张咏, 牛志春, 刘雷, 于红霞 (271)
3 种典型污染物对水生生物的急性毒性效应及其水质基准比较	姜东生, 石小荣, 崔益斌, 李梅 (279)
某制药废水对发光细菌急性毒性的评价研究	杜丽娜, 杨帆, 穆玉峰, 余若祯, 左剑恶, 高俊发, 余忻, 滕丽君, 汤薪瑶 (286)
异丙甲草胺与锌共存对斜生栅藻毒性手性差异影响	胡晓娜, 张淑娟, 陈彩东, 刘惠君 (292)
Biotic Ligand Model 的简化模型及预测性能评价	王万宾, 陈莎, 吴敏, 苏德丽, 赵婧 (299)
基于 USEtox 的焦化行业优先污染物筛选排序研究	郝天, 杜鹏飞, 杜斌, 曾思育 (304)
微囊藻毒素降解菌 <i>Paucibacter</i> sp. CH 菌的分离鉴定及其降解特性	游狄杰, 陈晓国, 向荟圯, 欧阳溱, 杨冰 (313)
硝酸盐抑制油田采出水硫酸盐还原菌活性研究	杨德玉, 张颖, 史荣久, 韩斯琴, 李光哲, 李国桥, 赵劲毅 (319)
降解纤维素产甲烷的四菌复合系	吴俊妹, 马安周, 崔萌萌, 于清, 齐鸿雁, 庄绪亮, 庄国强 (327)
中国陆地生态系统土壤异养呼吸变异的影响因素	谢薇, 陈书涛, 胡正华 (334)
内蒙古羊草草原根呼吸和土壤微生物呼吸区分的研究	史晶晶, 耿元波 (341)
南京河流夏季水-气界面 N ₂ O 排放通量	韩洋, 郑有飞, 吴荣军, 尹继福, 孙霞 (348)
杀菌剂对湖泊水体温室气体浓度分析的影响	肖启涛, 胡正华, James Deng, 肖薇, 刘寿东, 李旭辉 (356)
生物表面活性剂强化剩余污泥微生物燃料电池产电特性研究	彭海利, 张植平, 李小明, 杨麒, 罗琨, 易欣 (365)
不同硅铝比 Fe-ZSM-5 催化剂对氧化亚氮催化分解性能的研究	卢仁杰, 张新艳, 郝郑平 (371)
硫酸铵和尿素对废物焚烧过程中多种途径生成氯苯类的抑制作用	严密, 祁志福, 李晓东, 胡艳军, 陈彤 (380)
县域尺度的京津冀都市圈 CO ₂ 排放时空演变特征	汪浩, 陈操操, 潘涛, 刘春兰, 陈龙, 孙莉 (385)
保水剂性能及其农用安全性评价研究进展	李希, 刘玉荣, 郑袁明, 贺纪正 (394)

黄海和东海海域溶解铋地球化学分布特征

吴晓丹¹, 宋金明^{1*}, 吴斌^{1,2}, 李学刚¹

(1. 中国科学院海洋研究所, 青岛 266071; 2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要: 结合大面调查, 典型断面剖析及关键站位连续观测结果, 研究了黄海和东海海域溶解铋的含量水平, 时空分布特征及与生态环境的耦合关系, 探讨其主要来源和影响因素。结果表明, 表层海水溶解铋含量在 $0 \sim 0.029 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 之间, 平均值为 $0.008 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$; 底层海水浓度稍高, 介于 $0.001 \sim 0.189 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 之间, 平均值为 $0.016 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 。水平方向上, 溶解铋低值分布与盐度所示长江冲淡水双支扩散特征吻合, 表明其可示踪长江冲淡水路径; 高值出现在黄海暖流和苏北沿岸流途经之处及长江冲淡水与浙闽沿岸水交汇之处, 表明其分布受控于海流系统循环。垂直方向上, 水体对流和涡动混合使近岸海水均匀混合, 陆架区强潮混合锋面将近岸垂向混合区和离岸层化海水区分隔, 阻挡了溶解铋向外输运, 使锋区内溶解铋含量明显高于外海。周内, 溶解铋变化主要与潮汐、再悬浮作用和温盐跃层等海域特定水动力条件密切相关, 与温度、盐度等环境因素波动尚未呈现明显关系。溶解铋与悬浮颗粒物显著正相关, 表明其易从固相释放至水体, 并确定由颗粒态转化为溶解态的最佳温度 ($22 \sim 27^\circ\text{C}$)、盐度 ($28 \sim 31$) 和 pH ($7.9 \sim 8.1$)。

关键词: 溶解铋; 分布特征; 主要来源; 影响因素; 黄海和东海

中图分类号: X142; X834 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2014)01-0100-08

Geochemical Distribution of Dissolved Bismuth in the Yellow Sea and East China Sea

WU Xiao-dan¹, SONG Jin-ming¹, WU Bin^{1,2}, LI Xue-gang¹

(1. Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Occurrence level, geochemical distribution of dissolved bismuth and its coupling relationship to eco-environment were investigated in the Yellow Sea and East China Sea to explore the source and influencing factors. The results showed that the concentration of dissolved bismuth was within the range of $0 \sim 0.029 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ at the surface and $0.001 \sim 0.189 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ at the bottom, with the averages of 0.008 and $0.016 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, respectively. Horizontally, low value of dissolved bismuth exhibited the bidirectional extension feature, indicating that it could trace the path of Changjiang Diluted Water. High value of dissolved bismuth was observed where the Subei Coastal Current and Yellow Sea Warm Current flowed and the Changjiang Diluted Water and Zhejiang-Fujian Coastal Current met, suggesting that it was controlled by the cycle of current system. Vertically, the coastal water was fully mixed by water convection and eddy mixing, and was divided from the stratified water by strong tidal front, which blocked the transport of dissolved bismuth to the open sea. Thus, the concentration in front area was significantly higher than that in the open sea. Diurnal variation of dissolved bismuth was related to the hydrodynamic conditions (tide, suspension and thermocline) instead of the environmental factors (temperature and salinity). Positive relationship to SPM (suspended particulate matter) clarified that bismuth was prone to release from solid phase to liquid phase. Furthermore, conditions with temperature ranging $22 \sim 27^\circ\text{C}$, salinity ranging $28 \sim 31$ and pH ranging $7.9 \sim 8.1$ were shown to be optimal for the release process.

Key words: dissolved bismuth; distribution; source; influencing factor; Yellow Sea and East China Sea

铋(bismuth, Bi), 原子序数 83, 原子量 208.98, 位于元素周期表第六周期, 第 V 主族。较其他第 V 主族元素氮、磷、砷、锑, 铋元素鲜有报道。铋与人类生活息息相关, 对其多定义为污染周边环境和影响人类健康的元素。实际上, 与同族元素砷和锑相比, 铋毒性非常低, 是一种对人体几乎无毒的金属^[1]。作为元素周期表中最重的稳定元素, 铋在中世纪已被人所熟知, 铋类药物很早就进入了中医和西医疗程, 但由于其化合物难以被生物吸收, 生理学功能研究又不多, 故未被食品及农业组织和世界健

康组织列入为必需元素^[2]。随着对铋生理功能的深入了解, 很多基于铋的药物在临床医疗上已被用作治疗癌症、细菌和寄生虫感染等疾病。

海水中, 铋以 Bi(III) 存在。与同族元素砷和锑一样, 铋多源自岩石风化物 and 废弃物、有机物腐化分解产物、极区冰川作用、火山和海底热泉及大气

收稿日期: 2013-04-23; 修订日期: 2013-06-06

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41121064, 41306055); 中国科学院战略性先导科技专项 (XDA05030402)

作者简介: 吴晓丹 (1985 ~), 女, 博士, 助理研究员, 主要研究方向为古海洋学与地球化学, E-mail: xdwu@qdio.ac.cn

* 通讯联系人, E-mail: jmsong@qdio.ac.cn

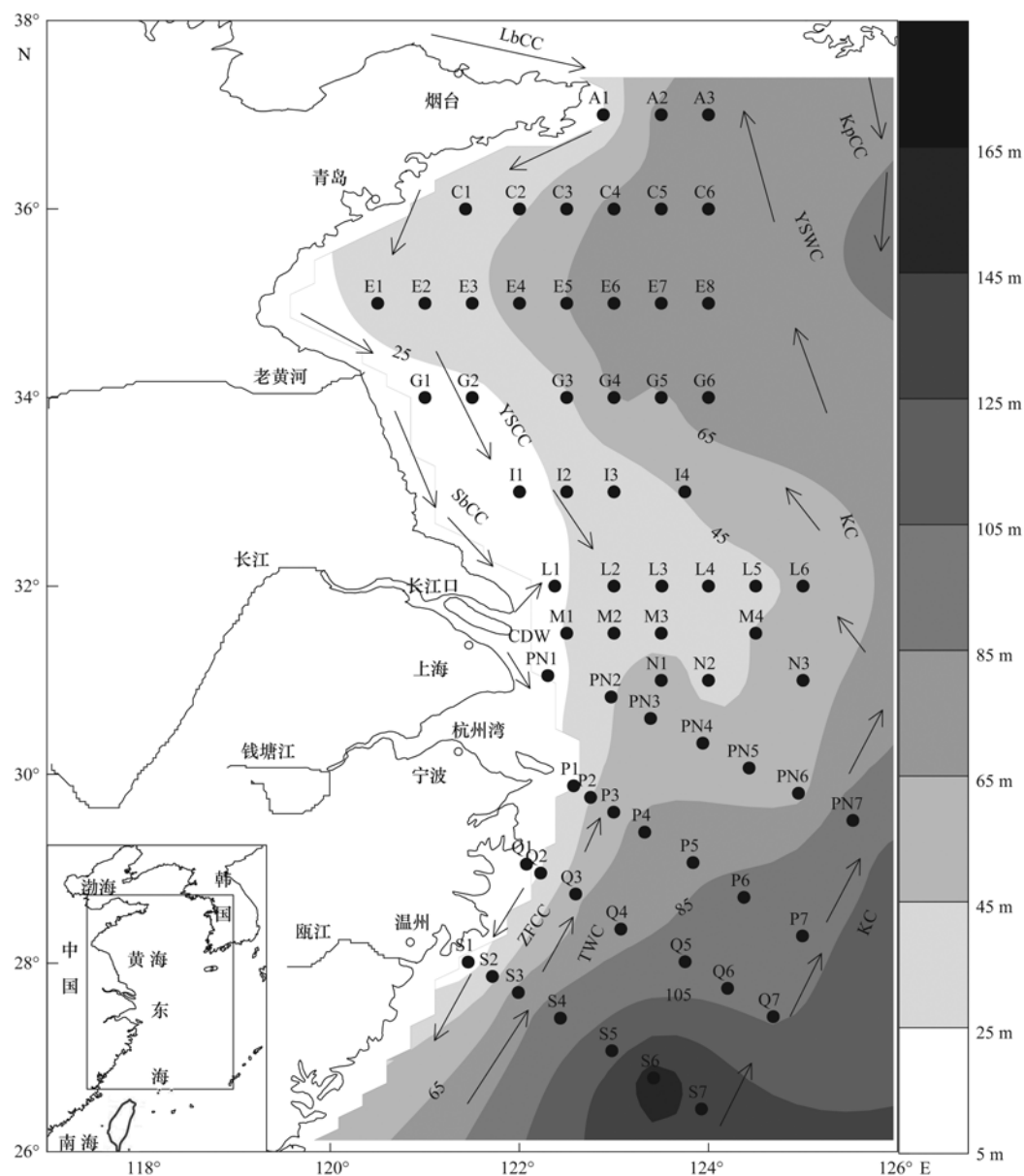
沉降等, 河流输入是陆源铋进入海洋的主要途径^[3, 4]. 至今, 对海水和半咸水中溶解铋的环境地球化学行为知之甚少. 近年来, 随着国际重大海洋科研合作计划 GEOTRACES 的实施, 铋等痕量元素在近海生物地球化学循环中的作用已成为国内外聚焦的热点^[5~8]. 因此, 研究铋在海洋环境中时空分布特征、地球化学行为及影响因素有助于进一步阐明其在生态系统中的作用. 本文就 2011 年夏季对黄海和东海的大范围调查, 研究了溶解铋的地球化学分布特征, 探讨其与生态环境的耦合关系, 筛选主要影响因素, 以期为中国近海痕量元素研究提供有

用的一手资料.

1 材料与方法

1.1 调查海域与样品采集

2011 年 8 月 12 ~ 31 日, 搭载“科学三号”考察船在黄海和东海 (26.5 ~ 37°N, 120.5 ~ 125.5°E) 范围内开展调查, 海水深度介于 14 ~ 157 m 之间, 平均水深为 57 m, 等深线与海岸线平行, 从沿岸到海中央深度增加, 在东南方向出现最高值 (图 1). 本研究区域海流系统和沉积特征复杂, 拥有老黄河口、长江口和杭州湾等三角地带, 烟台、青岛、上海、杭



LbCC: 鲁北沿岸流; SbCC: 苏北沿岸流; CDW: 长江冲淡水;
YSCC: 黄海沿岸流; ZFCC: 浙闽沿岸流; YSWC: 黄海暖流; KpCC: 朝鲜半岛沿岸流; TWC: 台湾暖流; KC: 黑潮

图 1 黄海和东海海流系统及采样站位分布示意

Fig. 1 Circulation model and sampling stations in the Yellow Sea and East China Sea

州、宁波等发达城市,长江、钱塘江、甬江等淡水河流,是活跃、典型、复杂的关键海域。这里西有鲁北沿岸流、苏北沿岸流、黄海沿岸流及浙闽沿岸流等顺流而下,东北有黄海暖流经过,东南有黑潮及分支台湾暖流入侵。如图1所示,调查布设断面12条,68个站,于位于黄海和东海交界处的L断面,长江口及九州以东的PN断面等2条断面的站位进行全层采样,在杭州湾口P2站每隔4h进行24h的连续全层采样,其他站点仅采集表层和底层水体样品。采样方法、层次和测定方法均按文献[9]进行。

利用SBE-911 Plus CTD采集了图1所示68个站位共计202个水样。采样瓶和样品瓶在使用前均用1:5HCl浸泡一周左右,先后用蒸馏水和Milli-Q水仔细冲洗干净。样品采集完成后立即用预先处理过孔径为0.45 μm 醋酸纤维膜(经稀HCl浸泡,Milli-Q水洗至中性)过滤。滤膜正面朝里折叠两次装入塑料膜盒, -20°C 条件下冷冻保存待测悬浮颗粒物(suspended particulate matter, SPM),滤液转移至1000 mL酸洗过的聚氯乙烯瓶, 4°C 条件下冷藏保存待测溶解无机铋(dissolved inorganic bismuth, DIBi)。现场用Milli-Q水做空白水样,考察现场过滤条件、滤器、滤膜、样品瓶对样品含量的影响,文中溶解铋含量均减掉该空白值。

1.2 样品分析

铋与第V主族元素砷和锑等化学性质相似,海水中溶解铋的测定介绍并不多,本研究参考水体中砷和锑的监测手段^[3, 10]及其他介质铋的测定方法,成功建立了溶解铋的氢化物发生原子荧光光谱法(XGY-1011A,中国地质科学院地球物理地球化学勘察研究所,中国)测定方法^[11]。由于海水中铋含量极低,测定前需利用氢氧化铁共沉淀法进行预富集。在酸性介质下($4\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ HCl),以 NaBiH_4 将海水中Bi(III)还原为 BiH_3 ,通过氩气从溶液中逸出进入原子荧光光谱仪测定。为保证测量准确性和精确度,采用国内标准物质(GSB 04-1719-2004),利用标准加入法,得到回收率为95%~105%,每个样品测定3次,相对标准偏差小于5%。温度和盐度由CTD自带传感器原位记录,pH值以pH计测定,将滤过定量海水的滤膜烘干恒重后,与过滤前膜重差值获得SPM值。酸介质为Merck Suprapur® 30%盐酸试剂,其余试剂为国产优级纯。

2 结果与讨论

2.1 水平变化特征

调查中,温度和盐度具有显著区域差异(图2)。夏季海洋受太阳辐射影响,表层温度较高,在 $19.2\sim 30.0^{\circ}\text{C}$ 之间变化,呈南高北低趋势,东北方向低温受控于南黄海西部逆时针环流,南部高温受控于黑潮次表层水和台湾暖流。底层水温低于表层,变化范围为 $6.2\sim 28.6^{\circ}\text{C}$,分布异于表层水体,近岸区等温线与岸线平行,向外海温度逐渐降低。受长江冲淡水影响,表层盐度较低,变化范围为 $20.2\sim 34.0$ 。长江冲淡水(盐度 <30)向东扩展,高盐水(盐度 >33)由东南向西北方向延伸。长江冲淡水双向延伸,一支自河口向东北方向延伸指向南黄海中部,另一支穿过杭州湾口及舟山群岛沿岸南下^[12]。受黑潮水影响,底层盐度较高,分布特征与表层相似,在 $28.7\sim 34.7$ 间变化。长江冲淡水仅影响较浅水层($<20\text{ m}$), 123°E 以东盐度基本大于33.6。高盐水北向扩展范围较表层大,爬上陆架的黑潮水延伸至近岸区。其它区域,表层和底层盐度变化基本一致,表现出良好的垂直混合作用^[13]。

溶解铋表层含量分布在 $0\sim 0.029\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 之间,平均值为 $0.008\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$,最低值出现在S3站,最高值出现在E8站。底层浓度稍高,介于 $0.001\sim 0.189\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 之间,平均值为 $0.016\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$,最低值出现在S5站,最高值出现在PN1站(图2)。据平面分布特征可以推断溶解铋的可能来源和影响因素。长江口-杭州湾沿岸是溶解铋在表层水的低值区,底层水中该处恰是其高值区,说明径流输入的陆源铋通过动力混合和颗粒物吸附过程沉于海底。表层低值由长江口出发一支向东南延伸至 124.5°E ,另有一支向东北方向扩展,与盐度所示长江冲淡水双支扩散特征吻合,表明其可示踪长江冲淡水路径。溶解铋高值出现在黄海暖流和苏北沿岸流所到之处及长江冲淡水与浙闽沿岸水交汇之处,表明其在表层水体受控于海流系统的循环。另有一处明显高值出现在表层海水(33°N , 123°E)附近,该处表层是清晰低温区,底层也是低温区,夏季长江口外全为暖水,低温不可能由海水水平流引起,故推测由垂向对流携带而来,表明该处存在一条较强上升流^[14],铋经上升流从底层携带至表层,呈现出高值状态。

2.2 垂直变化特征

本研究选定L和PN 2条断面进行全层采样,基于当前常用水系划分标准^[15, 16],利用T-S图(图3),判定了各断面站点受水团的影响情况,结合温度和盐度等主要环境要素讨论黄海和东海海域溶解铋的垂向分布特征(图4)。

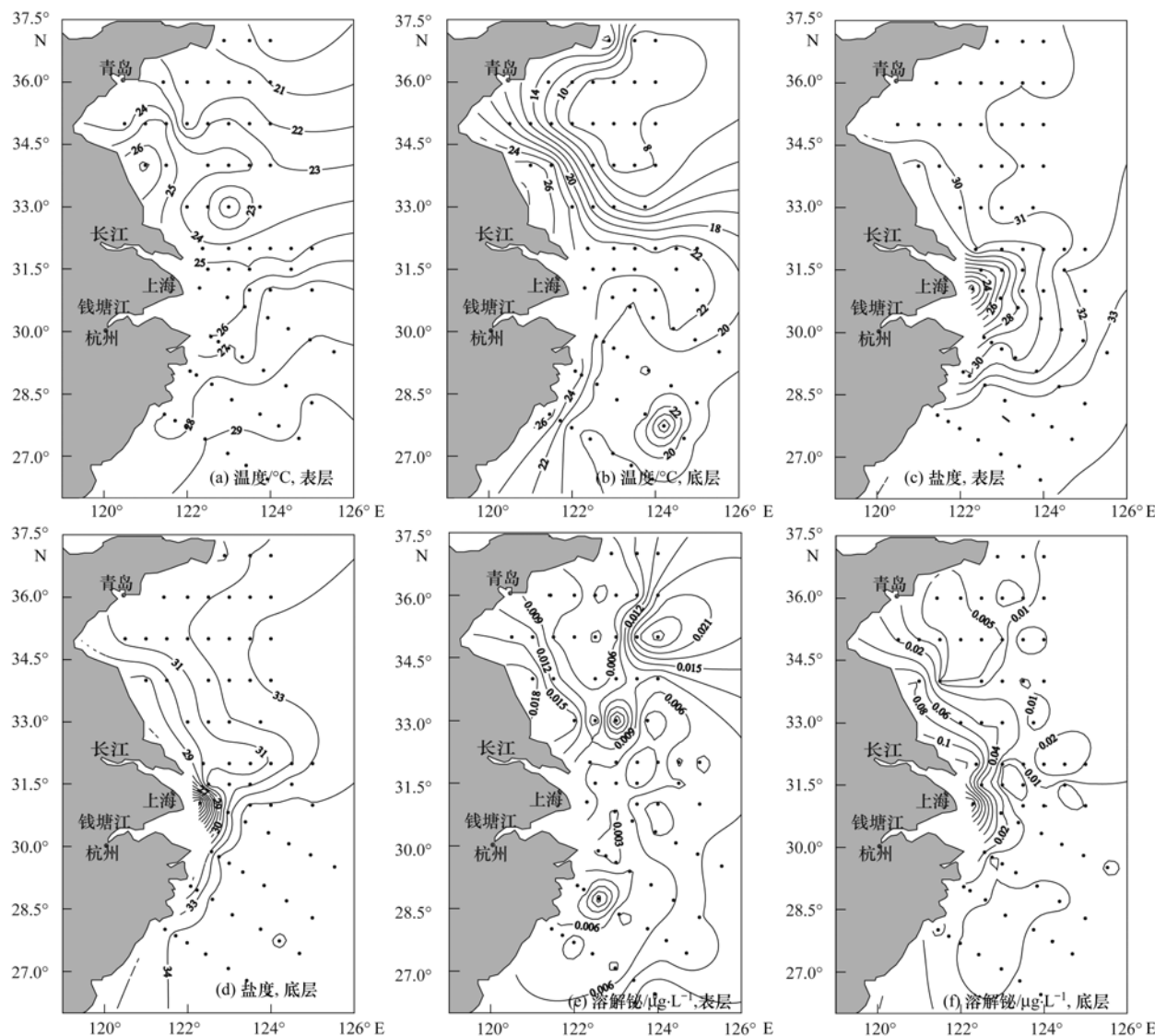


图2 黄海和东海海域温度、盐度和溶解铋水平分布特征

Fig. 2 Horizontal distribution of temperature, salinity and dissolved bismuth in the Yellow Sea and East China Sea

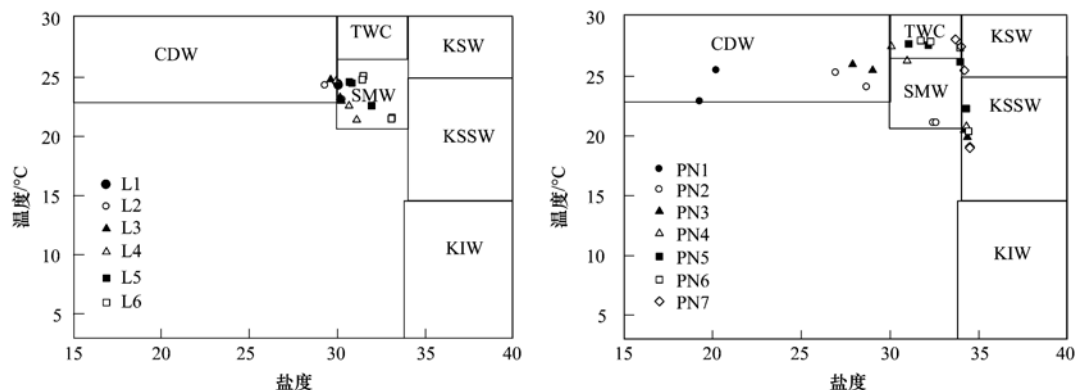
L断面沿 32°N 布设,属黄海与东海交界,共6个大面测站,西岸受长江冲淡水 and 陆架混合水影响,东岸受黄东海混合水和黄海暖流影响. 水温表层高于底层,层化现象明显,底层水温沿陆坡有一定涌升. 表层盐度梯度较大,低盐河水从西部入侵,密度较低,与高盐海水相遇,漂浮之上,形成羽状锋. L断面溶解铋含量在 $0 \sim 0.120 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 之间,最小值出现在L3站表层,最大值出现在L1站底层. 水体对流和涡动混合使近岸海水垂向混合均匀,L2站起,夏季陆架区强潮混合锋面将近岸垂向混合区和离岸层化海水区分隔开来. 以30等盐线为界,长江冲淡水在L断面向东影响至L4站表层水体,在口门附近影响至10 m处. L4站10 m以深,盐度升高,温度降低,形成一个冷水区,推测是由南向北延伸的

台湾暖流,越过冲淡水区,与源地变性为低温高盐水在长江口外的斜坡海底上涌升,在长江口北部海区深槽顶端,形成上升流,并明确处于以 31.5°N , 122.67°E 为中心,在经纬方向上各达 1° 左右位置上^[17]. 底层水体 124°E 附近海底沉积物释放的铋经该上升流向上涌起至近表层,形成另一高值区.

PN断面自长江口(31°N , 122.5°E)至琉球群岛(29.5°N , 125.5°E),穿过长江冲淡水区,横切冲绳海槽,与黑潮主轴垂直,呈西北-东南走向,与纬线成 40° 夹角,共7个大面测站,受中国大陆沿岸水系、黑潮表层水、黑潮次表层水、黑潮中层水、陆架混合水等相互作用. 水温随离岸距离和海水深度的增加而上升,盐度呈表层低、底层高,近岸低、外海高的变化趋势. 水体层化尚不完全,西岸上层水体,温

度和盐度垂向变化不大,谓之上混合均匀层. 表层长江冲淡水离岸向东扩展至 124°E ,在河口地区,冲淡水影响至表层下近 20 m,随离岸距离的增加,入侵深度由 PN3 站 10 m 处至 PN4 站表层. PN 断面溶解铋含量在 $0.002 \sim 0.189 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 之间变化,最小值出现在 PN2 站表层,最大值出现在 PN1 站底层. 长江口口门处盐度锋内发生着强烈的动力过程,表层水朝锋区辐合,产生下降运动,锋区作为一个动力

屏障,阻挡了溶解铋向外输运,使锋区内含量明显高于外海. PN5 和 PN6 站间盐度介于 $31.5 \sim 32.0$ 之间,为陆架混合水影响区域. 断面东岸温度和盐度均明显高于西侧,黑潮表现出强烈向岸入侵陆架的势头,由 PN7 站 100 m 以深海底楔入,爬升至 60 m 陆架,继续推进至 PN3 站, 122.5°E 处,涌升至 30 m. PN4 站以东,受黑潮影响,溶解铋含量有一定程度爬升.



CDW: 长江冲淡水; TWC: 台湾暖流; SMW: 陆架混合水; KSW: 黑潮表层水; KSSW: 黑潮次表层水; KIW: 黑潮中层水

图 3 L 与 PN 断面 T-S 图

Fig. 3 T-S diagram in L and PN sections

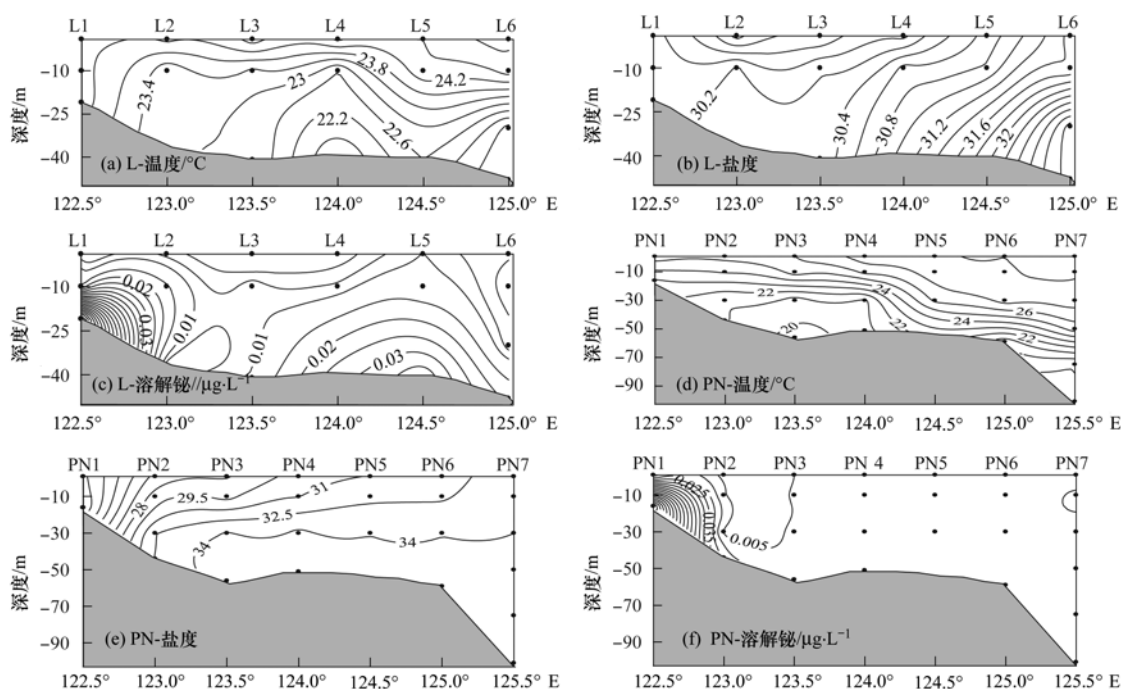


图 4 L 与 PN 断面温度、盐度和溶解铋垂直分布特征

Fig. 4 Vertical distribution of temperature, salinity and dissolved bismuth in L and PN sections

2.3 周日变化特征

本研究于 P2 站 ($29.76^{\circ}\text{N}, 122.75^{\circ}\text{E}$) 进行 24 h (30 日 18:00 ~ 31 日 18:00) 连续观测,以 4 h 为时间间隔分别采集表层、10 m、30 m 和底层的海水样

品,分析各层海水温度、盐度和溶解铋的周日变化特征(图 5),考察涨落潮水动力作用和生物活动的影响. 连续站地处长江冲淡水、浙闽沿岸流和黄东海混合水综合作用之地,温度和盐度层化现象明显.

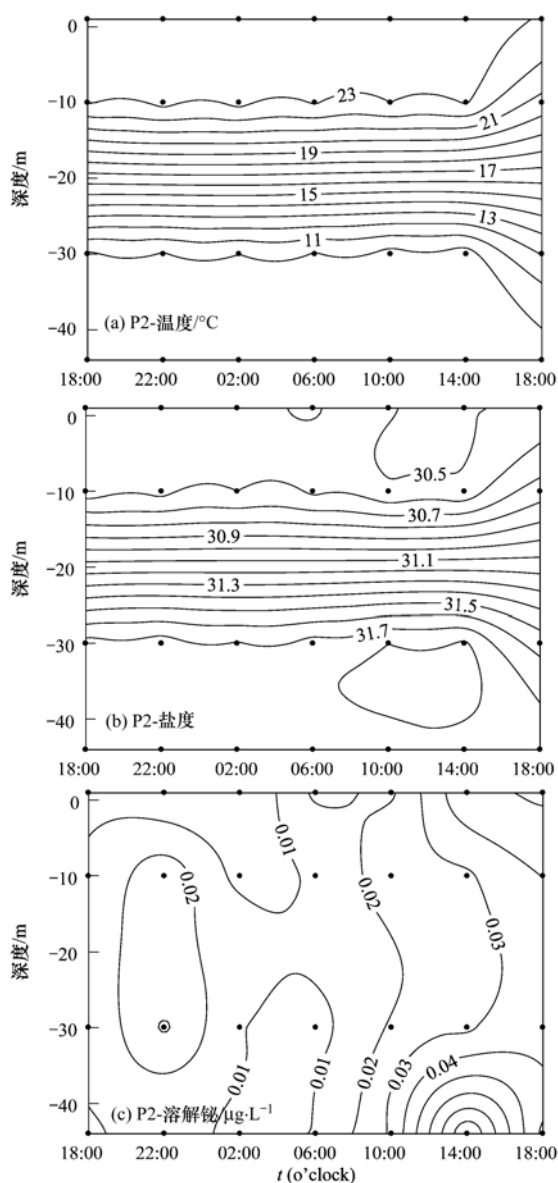


图5 P2站温度、盐度和溶解铋周日变化特征

Fig. 5 Diurnal variation of temperature, salinity and dissolved bismuth in P2 station

周日内,温度呈现表层高、底层低的分布趋势,变化范围为9.2~23.4℃,最小值出现在31日凌晨2:00底层水体,最大值出现在30日22:00表层水体。在30日18:00~31日06:00,10 m以上温度稍高,31日14:00以后10 m以上温度较其他观测时间低约0.5℃,30 m以深高约0.5℃。盐度相反,呈现表层低、底层高分布特征,在30.5~31.8范围内变化,最小值和最大值分别出现在31日14:00表层水体和30 m层水体。

监测结果表明,P2站正处于长江口水环境条件急剧变化的区域,潮汐作用影响比较强烈,恰证实了长江口是一个中等强度潮汐的河口^[18]。因此,选择

该站作为连续测站进行溶解铋含量的周日变化研究是理想的。周日内,溶解铋在表层、10 m、30 m和底层含量变化范围分别为0~0.010、0.001~0.006、0.001~0.007和0.001~0.019 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$,平均值分别为0.004、0.004、0.004和0.006 $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 。日间06:00~18:00溶解铋含量较高且变化较大,夜间18:00~06:00含量较低且变化不大,于14:00底层出现最高值,02:00表层出现最低值。溶解铋周日波动与潮汐密切相关,呈现出半日周期变化,长江口则正是典型的半日潮河口^[13]。因此,潮汐对溶解铋浓度的周日变化具有显著影响。涨潮时,溶解铋随海流由高值区进入测站水域,形成峰值;落潮时,溶解铋随水流从低值区进入测站水域,在低潮时形成谷值。另外,还存在不同的影响因子,在连续观测24 h期间,06:00高潮时监测水深为49 m,18:00低潮时监测水深为42 m,潮差达7.0 m。水深较浅时,水体混合剧烈,再悬浮作用显著,再悬浮的沉积物可释放铋至水体中,对底层溶解铋的高值具有重要贡献。24 h连续观测中,温度和盐度均在10~30 m内迅速变化,说明有温跃层存在,温跃层内溶解铋周日波动明显。

2.4 影响因素解析

黄海和东海海域溶解铋的分布具有明显的时空差异,受多种因素的共同作用,除物质来源、输入方式和海水特性外,吸附-解吸作用会使累积在固相的铋重新分配。在河口地区,悬浮颗粒物能捕集大量重金属离子并发生沉降,使河口沉积物成为铋的最终归宿地^[19]。风化产物随径流进入水体,铋通过海水淋溶作用或其他方式从颗粒物中释放出来,使溶解态在一定范围内增加。与锑一样,铋与颗粒态的吸附-解吸作用与SPM中的铁氧化物浓度有关^[20]。SPM作为沉积物再悬浮与水体动力强弱程度的重要指标,本文发现溶解铋与其有良好正相关性(图6),相关系数为0.949 ($P < 0.01$),表明铋易从固相释放至水体。另外,溶解铋在浅水区的高值也显然是由再悬浮的沉积物释放而来。实际上,吸附-解吸过程受控于海水环境条件,温度、盐度、pH和水体氧化还原条件均是影响吸附-解吸过程的重要因素^[21~25]。溶解铋与温度、盐度、pH值相关性分析中(图6),发现在温度、盐度和pH分别在22~27℃、28~31和7.9~8.1范围内最利于SPM释放铋。溶解铋含量与水体中溶解硫化物呈现显著正相关(图6),相关系数为0.757 ($P < 0.01$),说明铋具亲硫性,还原环境利于其从硫态释放出来。

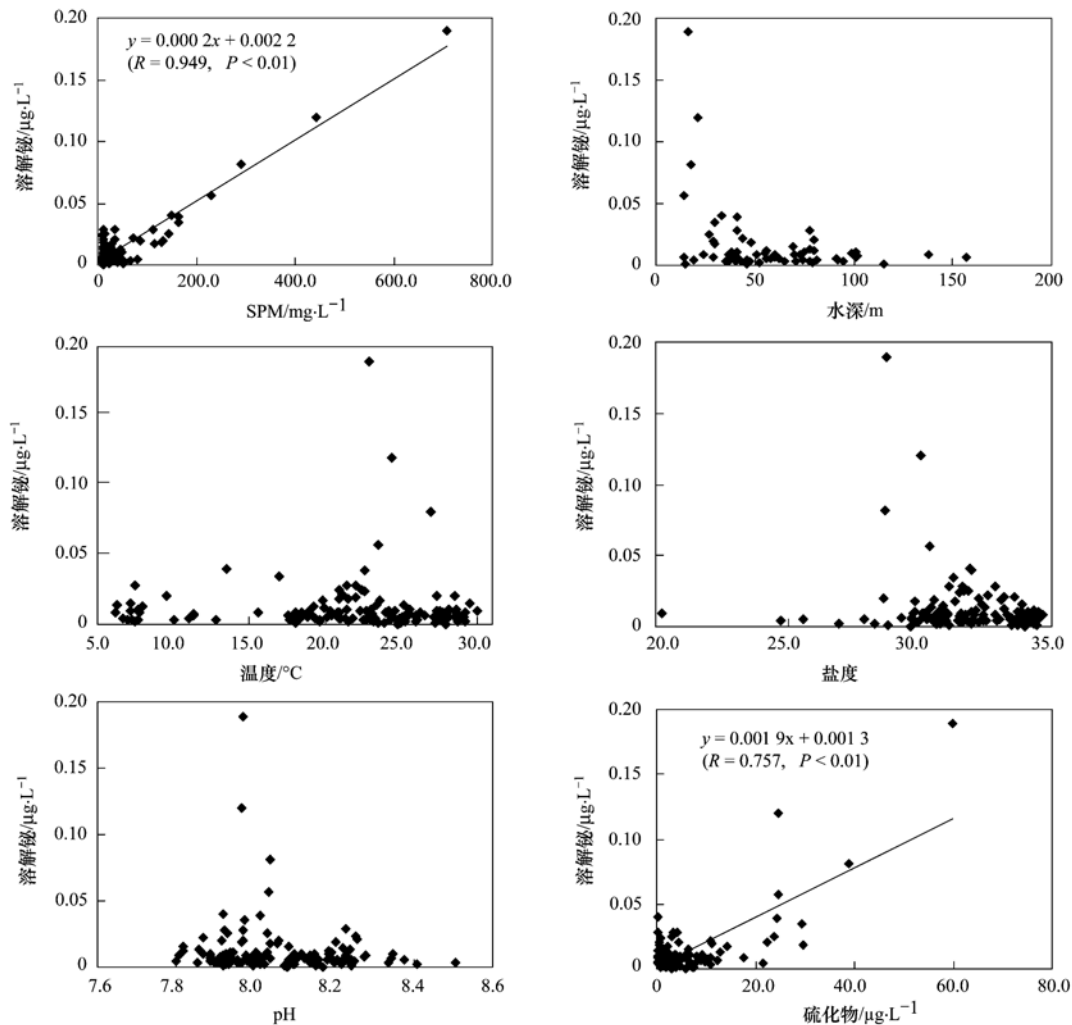


图6 黄海和东海海域溶解铋和环境参数的相关关系

Fig. 6 Relationship of dissolved bismuth with environmental factors in the Yellow Sea and East China Sea

3 结论

黄海和东海海域溶解铋的地球化学分布受控于海流系统循环、潮汐、再悬浮作用和温盐跃层等海域特定水动力条件,可示踪长江冲淡水路径并证实了上升流的存在. 悬浮颗粒物中的铋在水体动力作用下可解吸释放至水体,该行为受控于周边环境的温度、盐度、pH值和氧化还原条件. 当然,由于调查中SPM和硫化物在高含量水平($\text{SPM} > 400 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$; 硫化物 $> 40 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$)数据点较少,因而在分析两者对溶解铋地球化学行为的影响时存在一定局限,需进一步调查与研究.

参考文献:

- [1] Das A K, Chakraborty R, Cervera M L, *et al.* Analytical techniques for the determination of bismuth in solid environmental samples[J]. *Trac-Trends in Analytical Chemistry*, 2006, **25** (6): 599-608.
- [2] 杨楠,孙红哲. 砷、锑、铋类药物的应用历史和现状[J]. *化学进展*, 2009, **21**(5): 856-865.
- [3] Yao Q Z, Zhang J, Qin X G, *et al.* The behavior of selenium and arsenic in the Zhujiang (Pearl River) Estuary, South China Sea[J]. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 2006, **67**(1-2): 170-180.
- [4] 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.
- [5] Yao Q Z, Zhang J, Wu Y, *et al.* Hydrochemical processes controlling arsenic and selenium in the Changjiang River (Yangtze River) system[J]. *Science of the Total Environment*, 2007, **377**(1): 93-104.
- [6] Yao Q Z, Zhang J. Species and distribution of inorganic selenium in the Bohai Sea[J]. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 2006, **24**(2): 204-211.
- [7] Yao Q Z, Zhang J. The behavior of dissolved inorganic selenium in the Bohai Sea[J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*,

- 2005, **63**(1-2): 333-347.
- [8] Xi J H, He M C, Lin C Y. Adsorption of antimony (Ⅲ) and antimony(V) on bentonite: Kinetics, thermodynamics and anion competition[J]. *Microchemical Journal*, 2011, **97**(1): 85-91.
- [9] GB 12763.4-91, 海洋调查规范: 海水化学要素观测[S].
- [10] 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.
- [11] 吴晓丹, 宋金明, 李学刚, 等. 长江口及邻近海域溶解铋的分布变化特征及影响因素[J]. *环境化学*, 2012, **31**(11): 1741-1749.
- [12] 王保栋. 长江冲淡水的扩展及其营养盐的输运[J]. *黄渤海海洋学报*, 1998, **16**(2): 41-47.
- [13] 韦钦胜, 周明, 魏修华, 等. 冬季南黄海水化学要素的分布特征及变化趋势[J]. *海洋科学进展*, 2010, **28**(3): 353-363.
- [14] 吕新刚, 乔方利, 夏长水, 等. 长江口外及浙江沿岸夏季上升流的潮生机制[J]. *中国科学(D 辑): 地球科学*, 2007, **37**(1): 133-144.
- [15] 苏育嵩, 李凤岐, 王凤钦. 渤、黄、东海水型分布与水系划分[J]. *海洋学报*, 1996, **18**(6): 1-7.
- [16] Gong G C, Shiah F K, Liu K K, *et al.* Effect of the Kuroshio intrusion on the chlorophyll distribution in the southern East China Sea during spring 1993[J]. *Continental Shelf Research*, 1997, **17**(1): 79-94.
- [17] 赵保仁. 长江口外的上升流现象[J]. *海洋学报*, 1993, **15**(2): 108-114.
- [18] 苏纪兰, 袁业立. 中国近海水文[M]. 北京: 海洋出版社, 2005. 245-249.
- [19] 杨晓兰. 长江口悬浮颗粒物的表面特性与重金属的沉降[J]. *环境污染与防治*, 1999, **21**(3): 36-39.
- [20] Wilson N, Webster-Brown J. The fate of antimony in a major lowland river system, the Waikato River, New Zealand[J]. *Applied Geochemistry*, 2009, **24**(12): 2283-2292.
- [21] Gao Y Z, He J Z, Ling W T, *et al.* Effects of organic acids on copper and cadmium desorption from contaminated soils[J]. *Environment International*, 2003, **29**(5): 613-618.
- [22] 孙卫玲, 赵蓉, 张岚, 等. pH 对铜在黄土中吸持及其形态的影响[J]. *环境科学*, 2001, **22**(3): 78-83.
- [23] Zhou D M, Chen H M, Wang S Q, *et al.* Effects of organic acids, *o*-phenylenediamine and pyrocatechol on cadmium adsorption and desorption in soil[J]. *Water, Air, and Soil Pollution*, 2003, **145**(1-4): 109-121.
- [24] 徐明岗, 李菊梅, 张青. pH 对黄棕壤重金属解吸特征的影响[J]. *生态环境*, 2004, **13**(3): 312-315.
- [25] 章骅, 何晶晶, 吕凡, 等. 重金属在环境中的化学形态分析研究进展[J]. *环境化学*, 2011, **30**(1): 130-137.

CONTENTS

An Assessment of PM _{2.5} Related Health Risks and Impaired Values of Beijing Residents in a Consecutive High-Level Exposure During Heavy Haze Days	XIE Yuan-bo, CHEN Juan, LI Wei (1)
Seasonal Variation of Water-Soluble Ions in PM _{2.5} at Changbai Mountain	ZHAO Ya-nan, WANG Yue-si, WEN Tian-xue, <i>et al.</i> (9)
Variation of Atmospheric Particle Number Concentrations in Qingdao and Its Impact on Visibility	KE Xin-shu, SHENG Li-fang, KONG Jun, <i>et al.</i> (15)
Concentrations of PCDD/Fs in the Atmosphere of Chongqing City and Its Seasonal Variation	ZHANG Xiao-ling, LU Yi, ZHU Ming-ji, <i>et al.</i> (22)
Atmospheric Emission of PCDD/Fs from Secondary Aluminum Metallurgy Industry in the Southwest Area, China	LU Yi, ZHANG Xiao-ling, GUO Zhi-shun, <i>et al.</i> (30)
Atmospheric Emission of PCDD/Fs from Modern Dry Processing Cement Kilns with Preheating in the Southwest Area, China	ZHANG Xiao-ling, LU Yi, JIAN Chuan, <i>et al.</i> (35)
Pollution Status and Characteristics of PBDEs in Indoor Air of Hangzhou	JIANG Xin-wei, SUN Xin, PEI Xiao-qiang, <i>et al.</i> (41)
Size Distribution of Particle and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Particle Emissions from Simulated Emission Sources	FU Hai-huan, TIAN Na, SHANG Hui-bin, <i>et al.</i> (46)
Atmospheric Deposition Fluxes and Seasonal Variations of Elements in Northeast of Sichuan, Central China	TONG Xiao-ning, ZHOU Hou-yun, YOU Chen-feng, <i>et al.</i> (53)
Trend in Acid Deposition at Tieshanping, Chongqing During 2001-2010	YU De-xiang, MA Xiao-xiao, TAN Bing-quan, <i>et al.</i> (60)
Wet Deposition of Atmospheric Nitrogen of the Jinshui Watershed in the Upper Hanjiang River	WANG Jin-jie, ZHANG Ke-rong, WU Chuan, <i>et al.</i> (66)
Chemical Compositions of <i>n</i> -Alkanoic Acids in Wheat Straw and Its Smoke	LIU Gang, LI Jiu-hai, WU Dan, <i>et al.</i> (73)
Magnetic Properties of Indoor Dustfall at Different Heights in Lanzhou	WU Duo, WEI Hai-tao, ZHAO Rui-rui, <i>et al.</i> (79)
Mercury Fluxes from Conifer-Broadleaf Forested Field in Central Subtropical Forest Zone	MA Ming, WANG Ding-yong, SHEN Yuan-yuan, <i>et al.</i> (85)
Impacts of Rice Straw Biochar on Organic Carbon and CO ₂ Release in Arable Soil	KE Yue-jin, HU Xue-yu, YI Qing, <i>et al.</i> (93)
Geochemical Distribution of Dissolved Bismuth in the Yellow Sea and East China Sea	WU Xiao-dan, SONG Jin-ming, WU Bin, <i>et al.</i> (100)
Temporal-spatial Distribution and Pollution Assessment of Heavy Metals in the Upper Reaches of Hunhe River (Qingyuan Section), Northeast China	MA Ying-qun, SHI Yao, QIN Yan-wen, <i>et al.</i> (108)
Determination of Estrogenic Compounds in Water of Jiulong River Using Polar Organic Chemical Integrative Sampler	ZHANG Li-peng, WANG Xin-hong, LI Yong-yu, <i>et al.</i> (117)
Variation Characteristics and Environmental Significant of Trace Elements Under Rainfall Condition in Karst Groundwater	CHEN Xue-bin, YANG Ping-heng, LAN Jia-cheng, <i>et al.</i> (123)
Major Ion Chemistry of Surface Water in the Xilin River Basin and the Possible Controls	TANG Xi-wen, WU Jin-kui, XUE Li-yang, <i>et al.</i> (131)
Forms and Spatial Distribution Characteristics of Nitrogen in Ziya River Basin	ZHAO Yu, SHAN Bao-qing, ZHANG Wen-qiang, <i>et al.</i> (143)
Impact of Rice Agriculture on Nitrogen and Phosphorus Exports in Streams in Hilly Red Soil Earth Region of Central Subtropics	SONG Li-fang, WANG Yi, WU Jin-shui, <i>et al.</i> (150)
Study on Distribution of Phosphorus in Surface Sediments of the Yellow Sea and the East China Sea	SONG Guo-dong, LIU Su-mei, ZHANG Guo-ling (157)
Characterization and Optimization of the NaOH-EDTA Extracts for Solution ³¹ P-NMR Analysis of Organic Phosphorus in River Sediments	ZHANG Wen-qiang, SHAN Bao-qing, ZHANG Hong, <i>et al.</i> (163)
Regeneration and Transformation of BAPP in Suspended Solids Under Short-term Sediment Disturbance	WU Xiao-fei, LI Da-peng, WANG Ming (171)
Sediment Risk Assessment and Heavy Metal Source Analysis in Typical Country Water Level Fluctuated Zone (WLFZ) of the Three Gorges	AO Liang, LEI Bo, WANG Ye-chun, <i>et al.</i> (179)
Pollution Distribution and Potential Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in Sediments from the Different Eastern Dredging Regions of Lake Taihu	MAO Zhi-gang, GU Xiao-hong, LU Xiao-ming, <i>et al.</i> (186)
Study on the Stages of Major Sediments in Dianchi Lake	WANG Xin-yu, ZHOU Feng, YI Xuan, <i>et al.</i> (194)
Oil Spill Identification Using Partial Surface Fitting Method Based on Concentration-Synchronous-Matrix-Fluorescence Spectra	WANG Chun-yan, SHI Xiao-feng, LI Wen-dong, <i>et al.</i> (202)
Treatment of Sludge Liquor Produced in Deep Dehydration by Photoelectro-Fenton Process	WANG Xian-li, WANG Shi-feng, WU Jun-feng, <i>et al.</i> (208)
Characteristics of Nitrification and Denitrification for Simultaneous Nitrogen and Phosphorus Removal by Granular Sludge	LIU Xiao-ying, LIN Hui, MA Zhao-rui, <i>et al.</i> (214)
Study on Long-Term Stability of Biological Nitrogen Removal via Nitrite from Real Landfill Leachate	SUN Hong-wei, GUO Ying, PENG Yong-zhen (221)
Compositions and Residual Properties of Petroleum Hydrocarbon in Contaminated Soil of the Oilfields	HU Di, LI Chuan, DONG Qian-qian, <i>et al.</i> (227)
Dynamics of the Mineralization and Transformation of Rice Photosynthesized Carbon in Paddy Soils - a Batch Incubation Experiment	TAN Li-min, PENG Pei-qin, LI Ke-lin, <i>et al.</i> (233)
Effects of Land Use and Abandonment on Soil Labile Organic Carbon in the Karst Region of Southwest China	LIAO Hong-kai, LI Juan, LONG Jian, <i>et al.</i> (240)
Aluminum Dissolution and Changes of pH in Soil Solution During Sorption of Copper by Aggregates of Paddy Soil	XU Hai-bo, ZHAO Dao-yuan, QIN Chao, <i>et al.</i> (248)
Effect of Cr(VI) Anions on the Cu(II) Adsorption Behavior of Two Kinds of Clay Minerals in Single and Binary Solution	LIU Juan-juan, LIANG Dong-li, WU Xiao-long, <i>et al.</i> (254)
Effect of Flooding Time Length on Mycorrhizal Colonization of Three AM Fungi in Two Wetland Plants	MA Lei-meng, WANG Peng-teng, WANG Shu-guang (263)
Preliminary Study on the Relationship Between the Water Quality and the Aquatic Biological Health Status of Taihu Lake	ZHOU Xiao-bai, ZHANG Ning-hong, ZHANG Yong, <i>et al.</i> (271)
Acute Toxicity of Three Typical Pollutants to Aquatic Organisms and Their Water Quality Criteria	JIANG Dong-sheng, SHI Xiao-rong, CUI Yi-bin, <i>et al.</i> (279)
Evaluation of the Acute Toxicity of Pharmaceutical Wastewater to Luminescent Bacteria	DU Li-na, YANG Fan, MU Yu-feng, <i>et al.</i> (286)
Influence of the Coexistence of Zn ²⁺ on the Enantioselective Toxicity of Metolachlor to <i>Scenedesmus obliquus</i>	HU Xiao-na, ZHANG Shu-xian, CHEN Cai-dong, <i>et al.</i> (292)
Simplification of Biotic Ligand Model and Evaluation of Predicted Results	WANG Wan-bin, CHEN Sha, WU Min, <i>et al.</i> (299)
Priority Pollutants Ranking and Screening of Coke Industry based on USEtox Model	HAO Tian, DU Peng-fei, DU Bin, <i>et al.</i> (304)
Isolation, Identification and Characterization of a Microcystin-degrading Bacterium <i>Paucibacter</i> sp. Strain CH	YOU Di-jie, CHEN Xiao-guo, XIANG Hui-yi, <i>et al.</i> (313)
Inhibition of the Activity of Sulfate-reducing Bacteria in Produced Water from Oil Reservoir by Nitrate	YANG De-yu, ZHANG Ying, SHI Rong-jiu, <i>et al.</i> (319)
Bioconversion of Cellulose to Methane by a Consortium Consisting of Four Microbial Strains	WU Jun-mei, MA An-zhou, CUI Meng-meng, <i>et al.</i> (327)
Factors Influencing the Variability in Soil Heterotrophic Respiration from Terrestrial Ecosystem in China	XIE Wei, CHEN Shu-tao, HU Zheng-hua (334)
Study on the Distinguishing of Root Respiration from Soil Microbial Respiration in a <i>Leymus chinensis</i> Steppe in Inner Mongolia, China	SHI Jing-jing, GENG Yuan-bo (341)
Nitrous Oxide Flux at the Water-Air Interface of the Rivers in Nanjing During Summer	HAN Yang, ZHENG You-fei, WU Rong-jun, <i>et al.</i> (348)
Effects of Antiseptic on the Analysis of Greenhouse Gases Concentrations in Lake Water	XIAO Qi-tao, HU Zheng-hua, James Deng, <i>et al.</i> (356)
Electricity Generation of Surplus Sludge Microbial Fuel Cell Enhanced by Biosurfactant	PENG Hai-li, ZHANG Zhi-ping, LI Xiao-ming, <i>et al.</i> (365)
Fe-ZSM-5 Catalysts with Different Silica-Alumina Ratios for N ₂ O Catalytic Decomposition	LU Ren-jie, ZHANG Xin-yan, HAO Zheng-ping (371)
Inhibition of Chlorobenzene Formation via Various Routes During Waste Incineration by Ammonium Sulfate and Urea	YAN Mi, QI Zhi-fu, LI Xiao-dong, <i>et al.</i> (380)
County Scale Characteristics of CO ₂ Emission's Spatial-Temporal Evolution in the Beijing-Tianjin-Hebei Metropolitan Region	WANG Hao, CHEN Cao-cao, PAN Tao, <i>et al.</i> (385)
Characterization and Soil Environmental Safety Assessment of Super Absorbent Polymers in Agricultural Application	LI Xi, LIU Yu-rong, ZHENG Yuan-ming, <i>et al.</i> (394)

《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1月15日 35卷 第1期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 35 No. 1 Jan. 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