

# 环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第36卷 第4期

Vol.36 No.4

**2015**

中国科学院生态环境研究中心 主办  
科学出版社 出版



目次

中美空气质量指数(AQI)对比研究及启示 ..... 高庆先,刘俊蓉,李文涛,高文康(1141)

2013年1月北京市PM<sub>2.5</sub>区域来源解析 ..... 李璇,聂滕,齐珺,周震,孙雪松(1148)

2013年1月北京市一次空气重污染成因分析 ..... 程念亮,李云婷,张大伟,聂滕,邱启鸿,徐文帅(1154)

上海大气总悬浮颗粒物中金属的可溶性特征 ..... 常燕,冯冲,瞿建国,张经(1164)

厦门春季PM<sub>10</sub>中PAHs成分谱特征及其与气象要素相关性分析 ..... 张健,樊曙先,孙玉,张悦,魏锦成(1173)

硫氧同位素示踪南京北郊大气PM<sub>2.5</sub>中硫酸盐来源 ..... 魏英,郭照冰,葛鑫,祝胜男,姜文娟,石磊,陈姝(1182)

结合激光雷达分析2014年春季南京地区一次大气污染过程 ..... 包青,贺军亮,查勇,程峰,李倩楠(1187)

春季华东高山背景区域PM<sub>2.5</sub>和PM<sub>2.5-10</sub>中水溶性无机离子特征 ..... 苏彬彬,张智胜,陶俊,许榕洋,纪贤鑫,刘心东,张若宇(1195)

落叶燃烧排放的颗粒物及有机碳、元素碳的研究 ..... 杨伟宗,刘刚,李久海,徐慧,吴丹(1202)

四川省秸秆露天焚烧污染物排放清单及时空分布特征 ..... 何敏,王幸锐,韩丽,冯小琼,毛雪(1208)

深圳市船舶排放清单与时空特征研究 ..... 杨静,尹佩玲,叶斯琪,王水胜,郑君瑜,区家敏(1217)

超细颗粒通过建筑狭缝的传输特性 ..... 孙在,陈秋方,蔡志良,杨文俊,汪晗(1227)

空调病房真菌气溶胶浓度及粒径分布特征 ..... 张华玲,冯鹤华,方子梁,王本栋,李丹(1234)

基于氢氧稳定同位素的黄土高原云下二次蒸发效应 ..... 靳晓刚,张明军,王圣杰,朱小凡,董蕾,任正果,陈粉丽(1241)

黄河小浪底水库水沙调控对DOC输送的影响 ..... 张永领,王明仕,董玉龙(1249)

调水调沙工程长期实施对黄河口近岸沉积物粒度分布与黏土矿物组成特征的影响 ..... 王苗苗,孙志高,卢晓宁,王伟,王传远(1256)

春季生物作用对山地岩溶池水地球化学特征的影响 ..... 于正良,杨平恒,赵瑞一,李林立,张琳,童小容,罗刚(1263)

降雨期间岩溶城镇区地下水重金属变化特征及来源解析 ..... 任坤,杨平恒,江泽利,王尊波,师阳,王凤康,李晓春(1270)

北江和珠江广州河段水体的三卤甲烷风险评价 ..... 钟惠舟,韦朝海(1277)

丰水期洪湖水水质空间变异特征及驱动力分析 ..... 李昆,王玲,李兆华,王祥荣,陈红兵,吴忠,朱鹏(1285)

三峡库区典型干-支流相互作用过程中的营养盐交换:以梅溪河为例 ..... 操满,傅家楠,周子然,邓兵,王雨春,汪福顺(1293)

营养盐输入对太湖水体中磷形态转化及藻类生长的影响 ..... 王睿喆,王沛芳,任凌霄,王超,王颖(1301)

一小型藻华池塘浮游植物群落动态及其影响因子研究 ..... 杨文,朱津永,张克鑫,万莉,陆开宏(1309)

昌黎生态监控区夏季浮游植物群落年际变化特征分析 ..... 梁晓林,杨阳,王玉良,张月明,赵志楠,韩晓庆,张鉴达,高伟明(1317)

河道曝气提升河流水质的WASP模型研究 ..... 朱文博,王洪秀,柳翠,张建,梁爽(1326)

γ辐射降解水中的盐酸环丙沙星的研究 ..... 祝胜男,郭照冰,赵永富,葛鑫,魏英,陈姝,王静(1332)

电化学氢化物发生法处理含镉废水及对镉的回收 ..... 陈京晶,张国平,李海霞,付志平,欧阳小雪,吴琼(1338)

Fe-MCM-41催化臭氧氧化间甲酚废水 ..... 孙文静,王亚曼,卫皇墨,王森,李旭宁,李敬美,孙承林,安路阳(1345)

生物阳极及其反转为生物阴极降解氯霉素 ..... 孔德勇,梁斌,云慧,王爱杰,任南琪(1352)

308 nm光作用下α-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>表面HNO<sub>3</sub>的光解 ..... 陆军,孙云东,谢晶晶,赵军,邹家骥,朱承强(1359)

L-组氨酸-赤藓红复合膜修饰电极同时检测对苯二酚、邻苯二酚 ..... 何家洪,徐强,丁武泉,李强(1365)

酞基功能型高分子生物载体(PET-AQS)制备及催化生物反硝化特性研究 ..... 许晴,侯正浩,田秀蕾,牛春梅,郭延凯,廉静,郭建博(1374)

枯草芽孢杆菌对土臭素和2-甲基异冰片的降解动力学特性 ..... 马念念,罗国芝,谭洪新,姚妙兰,王晓用(1379)

嗜咪降解菌筛选及其对焦化废水强化处理 ..... 李静,李文英(1385)

Fe<sup>3+</sup>对同步硝化反硝化过程氮元素迁移转化及N<sub>2</sub>O释放的影响 ..... 李浩,闫玉洁,谢慧君,贾文林,胡振,张建(1392)

内循环半短程亚硝化工艺运行条件与微生物群落研究 ..... 赵志瑞,焦海华,崔丙健,黄迪,曹世超,王云,刘上千,马斌,白志辉(1399)

利用处理含4-氯苯酚模拟废水的剩余污泥培养普通小球藻 ..... 王璐,陈秀荣,闫龙,何怡萱,施震东(1406)

进水渗滤液总氮和BOD<sub>5</sub>/TN对填埋场反应器反硝化和厌氧氨氧化协同脱氮的影响 ..... 杨盈盈,陈奕,李明杰,谢冰(1412)

重庆金佛山土壤中PAHs含量的海拔梯度分布及来源解析 ..... 师阳,孙玉川,梁作兵,任坤,袁道先(1417)

湖南攸县典型煤矿和工厂区水稻田土壤镉污染特征及污染途径分析 ..... 张敏,王美娥,陈卫平,牛俊杰(1425)

沟渠化对三江平原湿地铁元素沉积过程的影响 ..... 苏文辉,于晓菲,王国平,栾金花,邹元春(1431)

施用磷酸盐和沸石对土壤镉形态转化的影响 ..... 王秀丽,梁成华,马子惠,韩月(1437)

不同条件下皂苷对污染壤土中Cu、Pb的淋洗修复 ..... 邓红侠,杨亚莉,李珍,许岩,李荣华,孟昭福,杨亚提(1445)

陕北某化工企业周围污灌区土壤-作物系统重金属积累特征及评价 ..... 齐雁冰,楚万林,蒲洁,刘梦云,常庆瑞(1453)

有机无机缓释复合肥对不同土壤微生物群落结构的影响 ..... 王菲,袁婷,谷守宽,王正银(1461)

玉米对铅胁迫的响应及体内铅化学形态研究 ..... 程海宽,张彪,景鑫鑫,杨素勤,赵鹏,孙晓雪,周志云(1468)

硼镉交互作用对水稻吸收积累镉和硼的影响 ..... 向猛,黄益宗,蔡立群,保琼莉,黄永春,王小玲,乔敏,胡莹,金姝兰,李季,王斐(1474)

丛枝菌根真菌对不同含盐量湿地土壤中芦苇生长的影响 ..... 郭江源,郭伟,毕娜,付瑞英,赵文静,赵仁鑫,王立新(1481)

滨海区芦苇和香蒲耐盐碱性及除氮磷效果对比研究 ..... 陈友媛,孙萍,陈广琳,王宁宁(1489)

不同温度下的土壤微生物呼吸及其与水溶性有机碳和转化酶的关系 ..... 吴静,陈书涛,胡正华,张旭(1497)

工业VOCs经济手段和工程技术减排对比性分析 ..... 王宇飞,刘昌新,程杰,郝郑平,王铮(1507)

《环境科学》征订启事(1216) 《环境科学》征稿简则(1248) 信息(1163,1194,1248,1424)

# 调水调沙工程长期实施对黄河口近岸沉积物粒度分布与黏土矿物组成特征的影响

王苗苗<sup>1,2</sup>, 孙志高<sup>1\*</sup>, 卢晓宁<sup>2</sup>, 王伟<sup>3</sup>, 王传远<sup>1</sup>

(1. 中国科学院烟台海岸带研究所, 海岸带环境过程与生态修复重点实验室, 烟台 264003; 2. 成都信息工程学院资源环境学院, 成都 610225; 3. 鲁东大学地理与规划学院, 烟台 264025)

**摘要:** 基于对 2013 年 10 月获取的黄河口近岸海域 28 个沉积物样品的激光粒度分析和 X-射线衍射 (XRD) 分析, 探讨了调水调沙工程长期实施对沉积物粒度分布以及蒙皂石、伊利石、高岭石、绿泥石这 4 种矿物组成特征的影响。结果表明, 2002 年调水调沙工程实施以来, 黄河口近岸海域的沉积物粒度尽管在砂含量上 (平均约占 23.5%) 较渤海海域和黄河沉积物高, 但仍主要以粉砂为主 (平均约占 59.1%), 黏土组分相对较少 (平均约占 17.4%)。黄河口近岸海域的黏土矿物组成与黄河沉积物的组成相近, 但较调水调沙工程实施前存在较大差异, 其不同组分含量整体表现为伊利石 > 蒙皂石 > 绿泥石 > 高岭石。研究发现, 相对渤海海域大范围的研究, 对黄河口近岸海域的局部研究更能揭示调水调沙工程长期实施对河口沉积环境的影响。

**关键词:** 黄河口; 沉积物; 粒度; 黏土矿物; 组成特征

中图分类号: X142 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2015)04-1256-07 DOI: 10.13227/j.hjks.2015.04.016

## Effects of Long-term Implementation of the Flow-Sediment Regulation Scheme on Grain and Clay Compositions of Inshore Sediments in the Yellow River Estuary

WANG Miao-miao<sup>1,2</sup>, SUN Zhi-gao<sup>1\*</sup>, LU Xiao-ning<sup>2</sup>, WANG Wei<sup>3</sup>, WANG Chuan-yuan<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory of Coastal Zone Environmental Processes and Ecological Remediation, Yantai Institute of Coastal Zone Research, Chinese Academy of Sciences, Yantai 264003, China; 2. College of Resources and Environment, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China; 3. Institute of Geography and Planning, Ludong University, Yantai 264025, China)

**Abstract:** Based on the laser particle size and X-ray diffraction (XRD) analysis, 28 sediment samples collected from the inshore region of the Yellow River estuary in October 2013 were determined to discuss the influence of long-term implementation of the flow-sediment regulation scheme (FSRS, initiated in 2002) on the distributions of grain size and clay components (smectite, illite, kaolinite and chlorite) in sediments. Results showed that, after the FSRS was implemented for more than 10 years, although the proportion of sand in inshore sediments of the Yellow River estuary was higher (average value, 23.5%) than those in sediments of the Bohai Sea and the Yellow River, silt was predominated (average value, 59.1%) and clay components were relatively low (average value, 17.4%). The clay components in sediments of the inshore region in the Yellow River estuary were close with those in the Yellow River. The situation was greatly changed due to the implementation of FSRS since 2002, and the clay components were in the order of illite > smectite > chlorite > kaolinite. This study also indicated that, compared to large-scale investigation in Bohai Sea, the local study on the inshore region of the Yellow River estuary was more favorable for revealing the effects of long-term implementation of the FSRS on sedimentation environment of the Yellow River estuary.

**Key words:** Yellow River estuary; sediment; grain; clay; composition characteristics

黄河是世界上著名的多沙河流, 虽然近 50 年来黄河输沙量明显下降, 但 1964 ~ 2012 年间年均输沙量仍然高达约 5.8 亿 t, 入海沉积物大部分堆积在河口三角洲<sup>[1]</sup>, 经过海洋的运移机制而对近岸沉积环境产生重大影响。海洋沉积物的粒度特征是沉积物搬运、沉积、再分配过程的集中体现, 蕴含了沉积物物源、水动力环境、搬运距离等诸多环境信息<sup>[2-5]</sup>, 研究沉积物粒度特征对有效地判定沉积物的运移方式和识别沉积环境类型具有重要意义。黏土矿物是组成洋底沉积物的主要成分, 由于形成于

独特的海洋环境, 它们完整地记录了各种地质信息, 在物源、沉积环境、全球气候变化、海平面升降、洋流演化等研究中具有重要意义<sup>[6]</sup>。

收稿日期: 2014-07-29; 修订日期: 2014-11-07

基金项目: 中国科学院“一三五”规划生态突破项目 (Y254021031); 中国科学院重点部署项目 (KZZD-EW-14); 国家自然科学基金项目 (41171424, 41371104, 41401103); 中国科学院人才专项项目 (Y129091041); 四川省科技计划应用基础研究项目 (2014JY0084); 高原大气与环境四川省重点实验室开放课题项目 (PAEKL-2014-Y1)

作者简介: 王苗苗 (1988 ~), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为环境 3S, E-mail: 307205590@qq.com

\* 通讯联系人, E-mail: zgsun@yic.ac.cn

关于粒度分布及黏土矿物的组成特征,当前研究已取得许多重要成果,且研究区域已涵盖渤海、黄海、东海等中国近海<sup>[7~22]</sup>,以及长江、黄河等中国河流<sup>[1,23~25]</sup>.调水调沙工程自2002年实施至今已有10多年,当前相关研究主要集中在调水调沙对下游河道<sup>[26~28]</sup>及泥沙粒径<sup>[29]</sup>、河口及三角洲<sup>[30~31]</sup>的影响上,对近岸沉积物粒度及黏土矿物组分的影响却鲜有报道.黄河口近岸海域属于渤海海域,虽然前人已对渤海海域的粒度分布和黏土矿物组成特征进行了较多研究,但缺乏对黄河口及近岸局部海域的详细研究,特别是2002年调水调沙工程实施以来,河口入海水沙量发生了明显变化,进而可对河口及近岸的沉积环境产生重大影响,从而可能改变河口及近岸区域的粒度分布及黏土矿物组成特征.基于此,本文对2013年10月获取的黄河口近岸海域表层沉积物的粒度分布和黏土矿物组成特征进行了研究,结果有助于明确调水调沙工程实施10多年来对河口及近岸沉积环境的影响.

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区域概况

黄河,中国北部大河,全长约5464 km,流域面积约75.2万 km<sup>2</sup>.黄河中上游以山地为主,中下游以平原、丘陵为主.由于河流中段流经黄土高原地区,因此夹带了大量泥沙,被称为世界上含沙量最多的河流,大量泥沙输至河口,年均造陆20 km<sup>2</sup>左右.现行河口作为黄河入海地域,位于渤海与莱州湾交汇处,地区幅员辽阔,气候良好,自然资源丰富.研究区位置如图1所示.

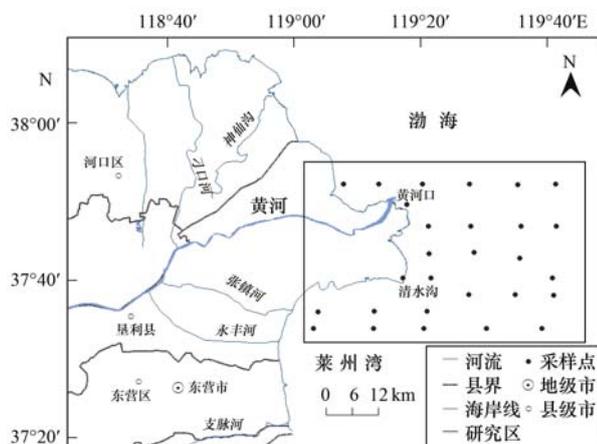


图1 研究区及采样点位置示意

Fig. 1 Location of study region and sampling sites

### 1.2 样品采集与分析

2013年10月,于黄河口近岸海域采集表层沉积物样品28个,采样点位置如图1所示.受潮流作用和采样航线的影响,样点分布与等间隔的理想状况存在一定差异.但总体来说,位于黄河口近岸区域(约为2740 km<sup>2</sup>)的采样点,分布较均匀且样点间距离相近,可较好体现出研究区域沉积物粒度分布与黏土矿物组成特征的局部变化.

沉积物粒度分析过程如下:取定量样品,加蒸馏水溶解,利用超声充分分散后在中国科学院烟台海岸带研究所测试分析中心用 Mastersizer2000 型激光粒度仪进行测试.调水调沙前黄河尾间河道沉积物粒度数据系东营市水文水资源勘测局提供.

沉积物黏土矿物组成分析过程如下:取定量的全岩样品,用去离子水浸泡,超声分散后过250目筛;将筛下部分样品转入800 mL烧杯中,加入去离子水至固定界面;玻璃棒搅拌均匀后静置;依照 Stokes 定律提取出黏土粒级(<2 μm)组分;将上述提取液离心、去上清液、制作定向片.分别制成自然定向片、乙二醇饱和定向片(60℃乙二醇蒸汽中12 h)和加热定向片(490℃加热2 h)后,在中国科学院海洋研究所海洋地质与环境重点实验室使用 X-射线衍射仪(XRD)进行测试分析.

### 1.3 数据处理与分析

运用 Excle 软件分析获取的沉积物粒度组成以及黏土矿物组成数据,运用 Origin 8.0 软件进行沉积物粒度和黏土矿物三角图式的绘制,运用 Arcgis 10.0 软件对样点的粒度组成和黏土矿物组成进行反距离权重(IDW)插值处理.

## 2 结果与分析

### 2.1 沉积物粒度的空间分布特征

根据国家海洋局1975年粒度分级标准,沉积物样品的粒度组成可分为黏土(<4 μm)、粉砂(4~63 μm)和砂(>63 μm).研究表明,黄河口近岸海域表层沉积物的粒度组成主要以粉砂为主(平均约占59.1%),其次是砂(平均约占23.5%),黏土组分相对较少(平均约占17.4%).通过以沉积物粒度黏土-粉砂-砂为三端元的三角图式亦可以看出沉积物的粒度组成特征(图2).样点分布较为分散说明各样点间的粒级组成差异较大,从而使得研究区在沉积物粒度组成上呈现出明显的空间异质性(图3).据图3可知,黏土和粉砂的分布特征相近,砂的分布特征则与二者相反.具体而言,黏土和粉砂组

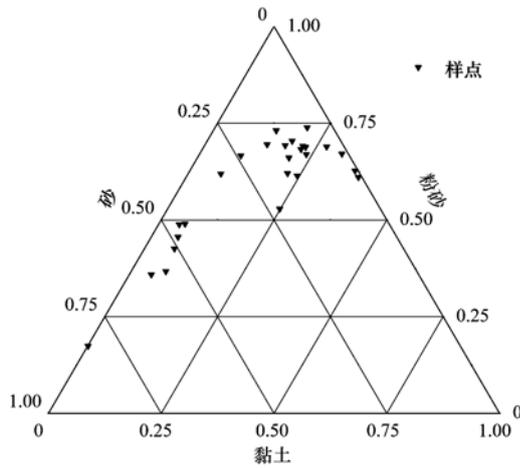


图2 近岸区域沉积物粒度的三角图式

Fig. 2 Triangular schema of the grain sizes in sediments of the inshore area

分含量在现黄河入海口的西侧小范围区域、东侧小范围区域以及南侧区域(原清水沟入海口近岸区域)均相对较低,而砂组分含量则较高. 与之相比,现黄河入海口近岸区域、东侧以及东南区域的黏土和粉砂组分含量较高,而砂组分含量较低. 黏土和粉砂组分在现黄河入海口近岸区域的含量分别介于25%~35%和55%~65%;在现黄河口南侧区域(原清水沟入海口近岸区域)的含量分别介于5%~15%和30%~45%;在现黄河口东侧区域的含量分别介于20%~25%和65%~70%;在现黄河口东南区域的含量分别介于15%~20%和65%~70%. 尽管黏土和粉砂含量的高、低值区分布范围相近,但在含量变化趋势上存在较大差异. 除黄河口东侧小范围低值区,粉砂在研究区总体呈现出由近岸向海递增的趋势,而黏土在现黄河入海口近岸-东侧区域呈现由近岸向海递减趋势,在现黄河口南侧-东南区域则呈现出由近岸向海递增趋势. 在现黄河口南侧区域(即原清水沟入海口近岸区域),砂组分含量介于35%~70%,除东侧小范围的高值区外,在南侧-东南侧区域呈现出由近岸向海递减的趋势;现黄河口近岸区域及东侧区域的砂含量差异较小,其含量均在10%左右;黄河入海口西侧近岸区域出现小范围高值区,其砂含量介于30%~55%. 尽管沉积物粒度组成在研究区均存在高值和低值中心,即均呈现出一定的空间差异性,但这种差异的强度并不一致. 从图3中等值线的疏密可知,砂组分含量的等值线最为密集,粉砂次之,黏土的最为稀疏,说明砂组分含量在研究区内空间差异最大,粉砂组分相对较小,黏土组分差异最小且相对稳定.

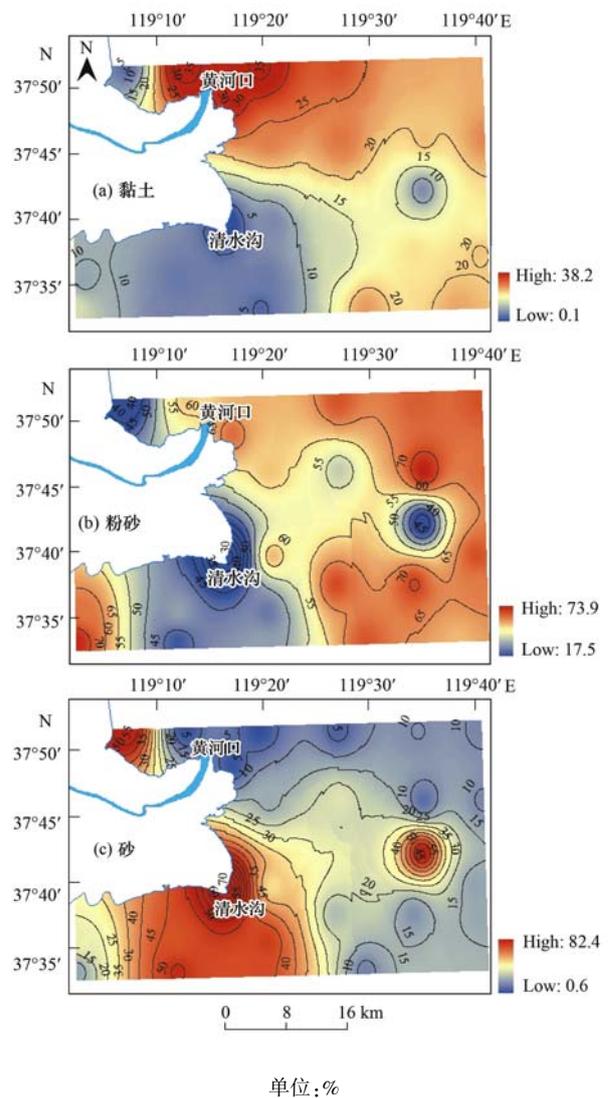


图3 沉积物不同粒级组分的分布特征

Fig. 3 Distributions of different graded components in sediments

## 2.2 沉积物黏土矿物的组成分布特征

海洋中广泛存在的黏土矿物有高岭石、伊利石、蒙脱石、绿泥石、海绿石及其间层矿物<sup>[6]</sup>. 蒙皂石包括蒙脱石和皂石两个亚族. 黄河口近岸表层沉积物的分析结果表明,区域内的黏土矿物主要有蒙皂石、伊利石、高岭石、绿泥石四种,平均含量分别为26.5%、55.4%、7.8%、10.3%. 其中,以伊利石含量最高,占整个黏土矿物组分的一半以上,最少的为高岭石,平均含量不足10%. 由以黏土矿物组分伊利石、蒙皂石和高岭石+绿泥石为三端元的三角图式亦可以看出,黄河口近岸表层沉积物的黏土矿物组分主要为蒙皂石和伊利石,其中又以伊利石居于最高(图4). 此外,所有样点在沉积物黏土矿物三角图式中的分布较集中,说明各样点间沉积物的黏土矿物组分差异较小,但不同黏土矿物组分

在整个研究区内的空间分布却存在明显差异 (图 5)。

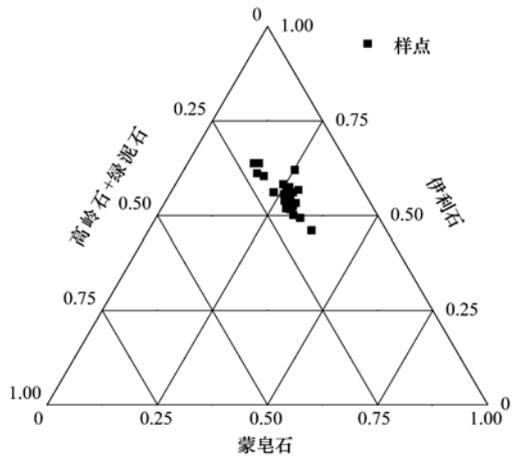


图 4 近岸区域沉积物黏土矿物的三角图式  
Fig. 4 Triangular schema of the clay components in sediments of the inshore area

研究表明,蒙皂石和伊利石在黄河口近岸区域的分布特征几乎完全相反,即蒙皂石的高值区对应伊利石的低值区,反之亦然[图 5(a)、5(b)]. 现黄河口南侧区域(原清水沟入海口近岸区域)及东侧区域的蒙皂石含量较高,约为 28% ~ 36%,大于其在区域内的平均含量(26.5%);而伊利石在对应区域内的含量相对较低,约为 48% ~ 54%,小于其在区域内的平均含量(55.4%). 反之,蒙皂石在现黄河入海口近岸及东南区域的含量较低,约为 18% ~ 24%;而伊利石在此区域的含量却相对较高,约为 58% ~ 62%. 蒙皂石在现黄河入海口近岸-东侧区域的含量分布呈现出由近岸向海逐渐升高趋势,而在现黄河口南侧-东南区域则呈现出由近岸向海逐渐降低趋势;伊利石的分布特征则相反,在现黄河入海口近岸-东侧区域呈现出由近岸向海逐渐降低趋势,而在现黄河口南侧-东南区域则呈现出由近岸向海逐渐升高趋势。

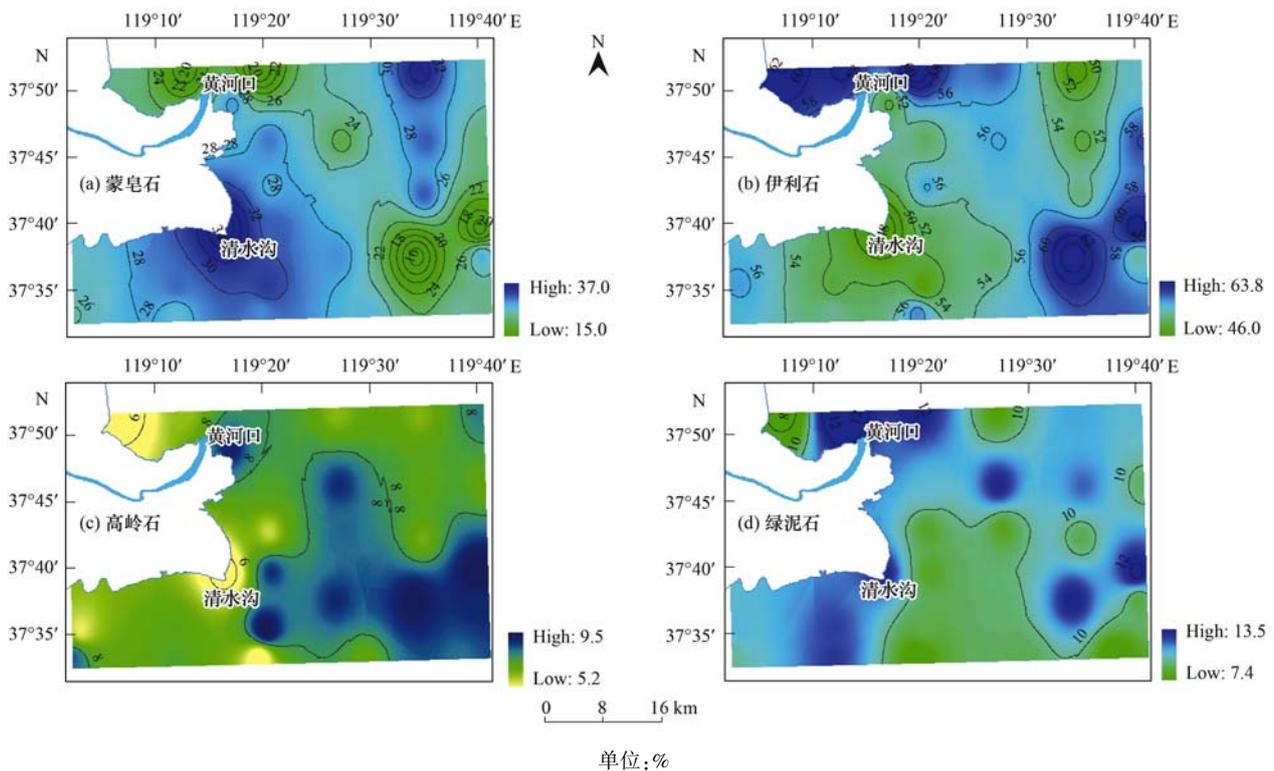


图 5 沉积物黏土矿物各组分相对含量的分布示意  
Fig. 5 Distributions of different clay components in sediments

高岭石和绿泥石的含量分布特征与伊利石相似 [图 5(c)、5(d)],但不尽相同. 高岭石和绿泥石的含量亦在现黄河入海口近岸区域及东南区域出现高值区,而在黄河口东侧区域出现低值区. 不同的是,高岭石在现黄河入海口处仅有小范围高值出现(含量在 8% 左右),而在东南区域则出现大范围高值区

(含量介于 8% ~ 9.5%). 高岭石在现黄河口南侧区域(原清水沟入海口近岸区域)出现明显的低值区,其中心达到区域该矿物组分含量的最低值(仅有 6% 左右);现黄河口东侧区域的高岭石含量虽亦较低,但分布相对均匀,大多在 7% 左右. 与高岭石和伊利石相比,绿泥石的空间分异特征并不明显,

在现黄河口南侧区域(原清水沟入海口近岸区域)出现小范围的高值区,与现黄河入海口近岸区域的含量相近,其含量介于 10% ~ 12%.

通过图 5 中等值线的疏密亦可看出,蒙皂石和伊利石含量的等值线较为密集,而高岭石和绿泥石含量的等值线则较为稀疏,说明蒙皂石和伊利石两种黏土矿物组分在研究区内的含量变差较大,空间变异性更明显;而高岭石和绿泥石的含量变差较小,空间变异性较小,其在研究区内的含量分布相对稳定. 总之,现黄河入海口区域与东南区域的伊利石、高岭石含量较高,蒙皂石含量较低;而南侧区域(原清水沟入海口近岸区域)及东侧区域的蒙皂石含量较高,伊利石、高岭石含量较低. 与其他组分相比,绿泥石含量在现黄河入海口近岸区域以及南侧区域(原清水沟入海口近岸区域)相近且均较高;而在现黄河入海口东侧区域,其低值区范围较小.

### 2.3 调水调沙前后沉积物粒度与黏土矿物组成特征对比

2002 年黄河实施调水调沙工程 10 多年来,尾间河道(入海口)、黄河口近岸、渤海湾和莱州湾区域沉积物的粒度与黏土矿物组成特征较调水调沙前均发生一定改变(表 1). 就沉积物粒度而言,尾间河道(入海口)的沉积物粒度在调水调沙前后存在显著差异. 调水调沙前的沉积物类型以粉砂为主(平均含量约占 79.5%),砂次之(平均约占 19.7%);调水调沙后,砂含量显著增加(平均约占

85.4%),粉砂含量则明显下降(平均约占 14.3%),黏土组分含量变化不大. 调水调沙后,黄河口近岸沉积物中砂含量尽管较尾间河道明显降低,但其平均含量仍高达 23.5%. 黄河口近岸沉积物粒度在调水调沙前虽未有明确报道,但其调水调沙后的砂含量较调水调沙前尾间河道的砂含量仍有明显增加,且黏土组分也较渤海湾略低. 渤海湾和莱州湾的沉积物粒度在调水调沙前亦无定量报道,但通过调水调沙后的结果显示,其沉积物类型均以粉砂(平均含量分别为 52% 和 62.4%)为主. 渤海湾沉积物的黏土含量较高,平均约占 25.9%;莱州湾沉积物的砂含量次之,平均约占 21.6%. 就黏土矿物组分而言,尾间河道(入海口)沉积物的黏土矿物诸组分平均含量在调水调沙前后相近,组合特征均为伊利石 > 蒙皂石 > 绿泥石 > 高岭石. 调水调沙前后,黄河口近岸沉积物黏土矿物中的伊利石含量变化不大,但蒙皂石平均含量较调水调沙实施前明显增加(高达 26.5%),仅次于伊利石. 渤海湾和莱州湾的黏土矿物较调水调沙前变化最明显的亦是蒙皂石. 渤海(包括渤海湾和莱州湾)沉积物的黏土矿物在调水调沙前以伊利石含量最高(平均约占 60%),高岭石次之,平均约占 18%,绿泥石和蒙皂石含量相对较低;调水调沙后,蒙皂石含量在渤海湾(平均 23.6%)和莱州湾(平均 22.7%)均明显增加,高岭石平均含量皆有所下降,而伊利石和绿泥石含量变化不大.

表 1 黄河尾间河道、黄河口近岸、渤海湾及莱州湾沉积物粒度和黏土矿物组成

Table 1 Composition of grain size and clay in sediments of the tail channel of the Yellow River, inshore area, Bohai Sea and Laizhou Bay

时间	区域	粒度组成/%			黏土矿物组成/%				文献
		黏土	粉砂	砂	伊利石	蒙皂石	绿泥石	高岭石	
调水调沙前	黄河尾间河道(入海口)	0.8 <sup>1)</sup>	79.5 <sup>1)</sup>	19.7 <sup>1)</sup>	62.5	15.2	12.5	9.7	[1]
	黄河口近岸	—	—	—	55~62	5~7	18~22	15~17	[32]
	渤海湾	粉砂质黏土	黏土质粉砂	粉砂	60	10	10	18	[33]
	莱州湾	粉砂质黏土	粉土质粉砂	粉砂					[8]
调水调沙后	黄河尾间河道(入海口)	0.3	14.3	85.4	62	16	12	10	[9]
	黄河尾间河道(入海口)	0.3	14.3	85.4	62	16	12	10	本研究
	黄河口近岸	17.4	59.1	23.5	55.4	26.5	10.3	7.8	本研究
	渤海湾	25.9	52	22	59	23.6	10.2	7.3	本研究
	莱州湾	16	62.4	21.6	57.8	22.7	10.9	8.6	本研究

1) 东营市水文资源勘测局提供

### 3 讨论

调水调沙工程不仅能够减少河道淤积,而且可有效增大主槽的过流能力,改善下游河道的排沙条件<sup>[26]</sup>. 已有研究表明,调水调沙工程使得下游河道泥沙中数粒径呈现出粗化趋势<sup>[29]</sup>. 黄河沉积物的

颗粒组成比较细,主要为黏土质粉砂<sup>[9]</sup>,统一到同一粒级标准<sup>[34]</sup>,即黄河沉积物中粉砂含量最高,黏土次之. 本研究表明,黄河口近岸沉积物粒度组成中的粉砂平均含量达 59.1%,居于最高;其次是砂,平均含量为 23.5%;黏土含量相对较低,平均约占 17.4%. 与黄河沉积物相比,尾间河道和黄河口近

岸区域沉积物的粒度组成在砂含量上均呈增加趋势,且闰河道沉积物粒度在调水调沙后砂含量明显增加(即粒径粗化)。可见,调水调沙工程不仅使得下游河道沉积物的粒径粗化,而且其对黄河口近岸沉积物的粒度粗化亦有重要影响。渤海(包括渤海湾和莱州湾)沉积物中粒度分布范围最广泛的是粉砂,黏土和砂含量相对较低。与渤海湾沉积物相比,黄河口近岸沉积物的砂含量较高,黏土含量较低。究其原因,黄河入海水沙携带的主要为风成黄土,颗粒较细,其中粉粒占黄土总重量的 50%,这就使得受黄河入海水沙影响较大的黄河口近岸以及渤海沉积物的粒度组成都以粉砂为主;调水调沙使得泥沙粒径粗化,泥沙入海使得黄河口近岸沉积物在砂含量上较高。但对于渤海湾,黏土组分颗粒细,在海洋水动力条件下其不断悬浮搬运向海侧输运<sup>[35]</sup>,由此使得渤海湾黏土组分相对近岸区域较高。

对于黏土矿物,黄河口近岸沉积物在调水调沙工程实施前伊利石含量最丰富,绿泥石和高岭石含量较丰富,而蒙皂石含量最低<sup>[32]</sup>。本研究表明,黄河口近岸区域的伊利石平均含量最高(55.4%),蒙皂石含量高达 26.5%,居第二位,绿泥石(10%)和高岭石(7%)含量较低。与调水调沙实施前相比,调水调沙后蒙皂石含量明显增加。调水调沙前,渤海表层沉积物中广泛存在的黏土矿物是伊利石、高岭石、绿泥石和蒙脱石,伊利石为优势矿物,平均含量为 60%;次之为高岭石,平均为 18%;绿泥石与蒙脱石为次要矿物,平均都在 10% 左右<sup>[8]</sup>。研究区的伊利石平均含量与渤海基本一致,但第二优势矿物却存在较大差别,高岭石的平均含量(7.8%)与渤海相比较低;而绿泥石的平均含量(10%)与渤海海区相近。黄河沉积物的黏土矿物组分含量由高到低依次为伊利石、蒙皂石、绿泥石、高岭石<sup>[1,9]</sup>,由此可见,研究区沉积物的黏土矿物与黄河沉积物的黏土矿物组成特征一致,体现了黏土矿物组分在河口近岸沉积物中的分布受陆源沉积物的控制。2003~2012 年间,受各种因素影响,特别是调水调沙工程使得黄河下游的年均径流量和输沙量明显增加(图 6),其在该时段内的多年平均径流量和输沙量分别为 193.2 亿  $m^3$  和 1.68 亿 t。黄河流经黄土高原地区,可携带大量黄土入海。黄土受黄土高原气候影响风化后可形成一些富钾和富钙的黏土矿物,如富钾伊利石、钙蒙脱石和方解石等<sup>[24]</sup>。入海径流量及输沙量的增加,可携带大量黄土在河口近岸堆积<sup>[1]</sup>,使得黄河口近岸区域沉积物中的黏土矿物组

分含量与调水调沙前存在较大差异。另外,黄河口近岸沉积物在水动力作用下可进入渤海湾和莱州湾<sup>[36]</sup>,致使调水调沙后渤海湾和莱州湾黏土矿物中的蒙皂石含量较调水调沙前高。这也说明黄河口近岸小范围区域的黏土矿物组成相对于渤海海域受黄河入海泥沙的影响更为显著。

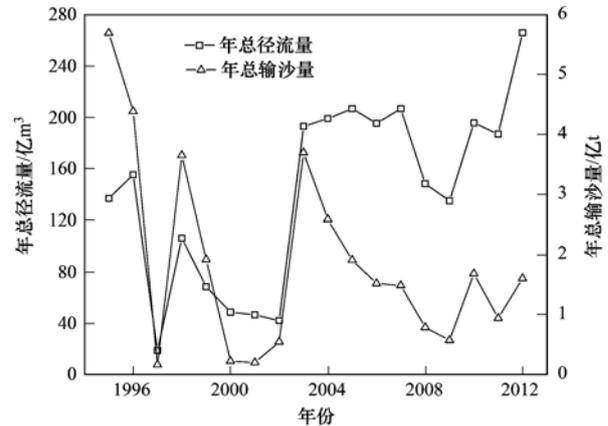


图 6 1995~2012 年利津站的水沙年际变化

Fig. 6 Annual runoff and sediment of the Lijin station from 1995 to 2012

#### 4 结论

(1) 黄河口近岸海域表层沉积物的粒度组成主要以粉砂为主,砂次之,黏土组分相对较少,与渤海和黄河沉积物的粒度组成存在较大差异;调水调沙工程使得沉积物粒径粗化,说明其粒度受陆源的影响更为显著。

(2) 黄河口近岸海域的黏土矿物组成与黄河沉积物的组成相近,但较调水调沙工程实施前存在较大差异,其不同组分含量整体表现为伊利石 > 蒙皂石 > 绿泥石 > 高岭石。

(3) 相对渤海海域大范围的研究,对黄河口近岸海域的小范围研究更能揭示黄河入海水沙对其沉积环境的影响。

致谢:本研究在采样过程中,得到黄河水利委员会东营水文水资源勘测局付作民高级工程师以及中国科学院烟台海岸带研究所河口物质输运与沉积课题组孙万龙、孙文广、郭兴森、祝贺同学的帮助,在此表示感谢。

#### 参考文献:

- [1] 范德江,杨作升,毛登,等. 长江与黄河沉积物中粘土矿物及地化成分的组成[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2001, 21(4): 7-12.
- [2] 孙有斌,高抒,李军. 边缘海陆源物质中环境敏感的粒度组分的初步分析[J]. 科学通报, 2003, 48(1): 83-86.

- [ 3 ] 何起祥. 中国海洋沉积地质学[M]. 北京: 海洋出版社, 2006.
- [ 4 ] 高抒. 沉积物粒径趋势分析: 原理与应用条件[J]. 沉积学报, 2009, **27**(5): 826-836.
- [ 5 ] 周连成, 李军, 高建华, 等. 长江口与舟山海域柱状沉积物粒度特征对比及其物源指示意义[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2009, **29**(5): 25-27.
- [ 6 ] 全秀云. 北部湾粘土矿物分布及其环境指示意义[D]. 北京: 中国地质大学, 2010. 1-114.
- [ 7 ] 赵全基. 渤海表层沉积物中粘土矿物研究[J]. 黄渤海海洋, 1987, **5**(1), 78-84.
- [ 8 ] 何良彪. 渤海表层沉积物中的粘土矿物[J]. 海洋学报, 1984, **6**(2): 272-276.
- [ 9 ] 魏飞. 渤海湾西部表层沉积物粒度和黏土矿物特征及物源分析[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2013. 1-63.
- [ 10 ] 王伟伟, 付元宾, 李树同, 等. 渤海中部表层沉积物分布特征与粒度分区[J]. 沉积学报, 2013, **31**(3): 478-485.
- [ 11 ] 乔淑卿, 石学法, 王国庆, 等. 渤海底质沉积物粒度特征及输运趋势探讨[J]. 海洋学报, 2010, **32**(4): 139-147.
- [ 12 ] 秦蕴珊, 赵一阳, 赵松龄, 等. 渤海地质[M]. 北京: 科学出版社, 1985.
- [ 13 ] Cheng P, Gao S, Bokuniewicz H. Net sediment transport patterns over the Bohai strait based on grain size trend analysis [J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2004, **60**(2): 203-212.
- [ 14 ] 秦蕴珊, 赵一阳, 陈丽蓉, 等. 黄海地质[M]. 北京: 海洋出版社, 1989.
- [ 15 ] 王伟, 李安春, 徐方建, 等. 北黄海表层沉积物粒度分布特征及其沉积环境分析[J]. 海洋与湖沼, 2009, **40**(5): 525-531.
- [ 16 ] 石学法, 陈春峰, 刘焱光, 等. 南黄海中部沉积物粒径趋势分析及搬运作用[J]. 科学通报, 2002, **47**(6): 452-456.
- [ 17 ] 吴文中, 朱袁智. 南海的粘土矿物[J]. 热带海洋, 1983, **2**(1): 20-27.
- [ 18 ] 郭志刚, 杨作升, 范德江. 东海陆架北部表层细粒级沉积物的级配及意义[J]. 青岛海洋大学学报, 2002, **32**(5): 741-747.
- [ 19 ] 朱凤冠, 李秀珠, 高水土. 东海大陆架沉积物中粘土矿物的研究[J]. 东海海洋, 1988, **6**(1): 40-51.
- [ 20 ] 朱凤冠. 东海陆架区全新世地层中粘土矿物[J]. 东海海洋, 1985, **3**(4): 32-43.
- [ 21 ] 秦蕴珊, 赵一阳, 陈丽蓉, 等. 东海地质[M]. 北京: 科学出版社, 1987.
- [ 22 ] 李国刚. 中国近海表层沉积物中粘土矿物的组成、分布及其地质意义[J]. 海洋学报, 1990, **12**(4): 470-479.
- [ 23 ] Proceedings of International Symposium on sedimentation on the continental shelf with special reference to the east China sea [C]. Beijing: China Ocean Press, 1983.
- [ 24 ] 何良彪, 刘秦玉. 黄河与长江沉积物中粘土矿物的化学特征[J]. 科学通报, 1997, **42**(7): 730-734.
- [ 25 ] Milliman J D, Beardsley R C, Yang Z S, et al. Modern Huanghe-derived muds on the outer shelf of the East China Sea: identification and potential transport mechanisms[J]. Continental Shelf Research, 1985, **4**(1-2): 175-188.
- [ 26 ] 徐国宾, 张金良, 练继建. 黄河调水调沙对下游河道的影响分析[J]. 水科学进展, 2005, **16**(4): 518-523.
- [ 27 ] 李国英. 黄河调水调沙[J]. 人民黄河, 2002, **24**(11): 1-4, 46.
- [ 28 ] 马骏, 李晓, 许珂艳. 2008年黄河调水调沙效果分析[J]. 水资源与水工程学报, 2008, **19**(5): 87-93.
- [ 29 ] 刘俊峰, 和瑞莉, 姚宝萍. 黄河调水调沙试验对泥沙粒径变化影响分析[J]. 中国粉体技术, 2005, **11**(2): 40-43.
- [ 30 ] 郑玉成, 王宗波. 黄河前3次调水调沙试验对河口区段的影响[J]. 人民黄河, 2006, **28**(2): 24-25, 28.
- [ 31 ] 王开荣. 黄河调水调沙对河口及其三角洲的影响和评价[J]. 泥沙研究, 2005, (6): 29-33.
- [ 32 ] 辛春英, 何良彪, 王慧艳. 黄河口及其近岸区的粘土矿物[J]. 黄渤海海洋, 1998, **16**(4): 23-27.
- [ 33 ] 李平. 黄河水下三角洲表层沉积物对应分析[J]. 海洋科学, 1997, (4): 37-41.
- [ 34 ] 国家海洋局. 海洋调查规范[M]. 北京: 国家海洋局, 1975.
- [ 35 ] 刘锋. 黄河口及其邻近海域泥沙输运及其动力地貌过程[D]. 上海: 华东师范大学, 2012. 1-175.
- [ 36 ] 赵保仁, 庄国文, 曹德明, 等. 渤海的环流、潮余流及其对沉积物分布的影响[J]. 海洋与湖沼, 1995, **26**(5): 466-473.

## CONTENTS

Comparative Analysis and Inspiration of Air Quality Index Between China and America .....	GAO Qing-xian, LIU Jun-rong, LI Wen-tao, <i>et al.</i>	(1141)
Regional Source Apportionment of PM <sub>2.5</sub> in Beijing in January 2013 .....	LI Xuan, NIE Teng, QI Jun, <i>et al.</i>	(1148)
Formation Mechanism of a Serious Pollution Event in January 2013 in Beijing .....	CHENG Nian-liang, LI Yun-ting, ZHANG Da-wei, <i>et al.</i>	(1154)
Soluble of Metals within TSP in Shanghai .....	CHANG Yan, FENG Chong, QU Jian-guo, <i>et al.</i>	(1164)
Analysis of Component Spectral Characteristics of PM <sub>10</sub> -Bound PAHs and the Influence of Weather Conditions During Spring in Xiamen .....	ZHANG Jian, FAN Shu-xian, SUN Yu, <i>et al.</i>	(1173)
Tracing Sources of Sulfate Aerosol in Nanjing Northern Suburb Using Sulfur and Oxygen Isotopes .....	WEI Ying, GUO Zhao-bing, GE Xin, <i>et al.</i>	(1182)
Analysis of an Air Pollution Process Using LiDAR in Nanjing, Spring of 2014 .....	BAO Qing, HE Jun-liang, ZHA Yong, <i>et al.</i>	(1187)
Characteristics of Water-soluble Inorganic Ions in PM <sub>2.5</sub> and PM <sub>2.5-10</sub> in Mountain Background Region of East China in Spring .....	SU Bin-bin, ZHANG Zhi-sheng, TAO Jun, <i>et al.</i>	(1195)
Emission of Particulate Matter, Organic and Elemental Carbon from Burning of Fallen Leaves .....	YANG Wei-zong, LIU Gang, LI Jiu-hai, <i>et al.</i>	(1202)
Emission Inventory of Crop Residues Field Burning and Its Temporal and Spatial Distribution in Sichuan Province .....	HE Min, WANG Xing-rui, HAN Li, <i>et al.</i>	(1208)
Marine Emission Inventory and Its Temporal and Spatial Characteristics in the City of Shenzhen .....	YANG Jing, YIN Pei-ling, YE Si-qi, <i>et al.</i>	(1217)
Characteristic of Ultrafine Particles Transferring Through Building Envelopes .....	SUN Zai, CHEN Qiu-fang, CAI Zhi-liang, <i>et al.</i>	(1227)
Airborne Fungal Aerosol Concentration and Distribution Characteristics in Air-Conditioned Wards .....	ZHANG Hua-ling, FENG He-hua, FANG Zi-liang, <i>et al.</i>	(1234)
Effect of Below-cloud Secondary Evaporation in Precipitations over the Loess Plateau Based on the Stable Isotopes of Hydrogen and Oxygen .....	JIN Xiao-gang, ZHANG Ming-jun, WANG Sheng-jie, <i>et al.</i>	(1241)
Effect of the Runoff-sediment Control of the Xiaolangdi Reservoir on DOC Transport .....	ZHANG Yong-ling, WANG Ming-shi, DONG Yu-long	(1249)
Effects of Long-term Implementation of the Flow-Sediment Regulation Scheme on Grain and Clay Compositions of Inshore Sediments in the Yellow River Estuary .....	WANG Miao-miao, SUN Zhi-gao, LU Xiao-ning, <i>et al.</i>	(1256)
Influences of Biological Processes on Geochemical Characteristics: An Example of a Mountain Karst Pool in Spring Season .....	YU Zheng-liang, YANG Ping-heng, ZHAO Rui-yi, <i>et al.</i>	(1263)
Variation Characteristics and Sources of Heavy Metals in an Urban Karst Groundwater System during Rainfall Event .....	REN Kun, YANG Ping-heng, JIANG Ze-li, <i>et al.</i>	(1270)
Risk Assessment of Trihalomethane Production Using the Beijiang River and the Pearl River, Guangzhou as Drinking Water Sources .....	ZHONG Hui-zhou, WEI Chao-hai	(1277)
Spatial Variability Characteristics of Water Quality and Its Driving Forces in Honghu Lake During High Water-level Period .....	LI Kun, WANG Ling, LI Zhao-hua, <i>et al.</i>	(1285)
Nutrient Exchange Between Meixi River and Yangtze River Due to the Typical Interaction Process of the Three Gorges Reservoir and Its Tributary .....	CAO Man, FU Jia-nan, ZHOU Zi-ran, <i>et al.</i>	(1293)
Effects of Nutrient Inputs on Changes of Phosphorus Forms and Phytoplankton Growth in Taihu Lake .....	WANG Rui-zhe, WANG Pei-fang, REN Ling-xiao, <i>et al.</i>	(1301)
Community Dynamics of Phytoplankton and Related Affecting Factors in a Eutrophicated Small Pond .....	YANG Wen, ZHU Jin-yong, ZHANG Ke-xin, <i>et al.</i>	(1309)
Yearly Changes of Phytoplankton Community in the Ecology-monitoring Area of Changli, Hebei in Summer .....	LIANG Xiao-lin, YANG Yang, WANG Yu-liang, <i>et al.</i>	(1317)
Improvement of River Water Quality by Aeration: WASP Model Study .....	ZHU Wen-bo, WANG Hong-xiu, LIU Cui, <i>et al.</i>	(1326)
Radiolytic Decomposition of Ciprofloxacin Hydrochloride in Aqueous Solution Using $\gamma$ Irradiation .....	ZHU Sheng-nan, GUO Zhao-bing, ZHAO Yong-fu, <i>et al.</i>	(1332)
Removal of Antimony in Wastewater by Electrochemical Hydride Generation and the Recovery of Antimony .....	CHEN Jing-jing, ZHANG Guo-ping, LI Hai-xia, <i>et al.</i>	(1338)
Degradation of <i>m</i> -Cresol with Fe-MCM-41 in Catalytic Ozonation .....	SUN Wen-jing, WANG Ya-min, WEI Huang-zhao, <i>et al.</i>	(1345)
Bioanode and Inversion of Bioanode to Biocathode for the Degradation of Antibiotic Chloramphenicol .....	KONG De-yong, LIANG Bin, YUN Hui, <i>et al.</i>	(1352)
Photolysis of Gaseous HNO <sub>3</sub> on the $\alpha$ -Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Films Under 308 nm UV Light .....	LU Jun, SUN Yun-dong, XIE Jing-jing, <i>et al.</i>	(1359)
Simultaneous Determination of Hydroquinone and Catechol Based on L-Histidine-Erythrosine Composite Film Modified Glassy Carbon Electrode .....	HE Jia-hong, XU Qiang, DING Wu-quan, <i>et al.</i>	(1365)
Preparation and Characterization of Quinone Functional Polymer Biocarrier (PET-AQS) for Bionitrification Catalysis .....	XU Qing, HOU Zheng-hao, TIAN Xiu-lei, <i>et al.</i>	(1374)
Kinetic Characteristics of Degradation of Geosmin and 2-Methylisoborneol by <i>Bacillus subtilis</i> .....	MA Nian-nian, LUO Guo-zhi, TAN Hong-xin, <i>et al.</i>	(1379)
Screening of a Highly Efficient Quinoline-degrading Strain and Its Enhanced Biotreatment on Coking Waste Water .....	LI Jing, LI Wen-ying	(1385)
Effect of Ferric Iron on Nitrogen Immigration and Transformation and Nitrous Oxide Emission During Simultaneous Nitrification Denitrification Process .....	LI Hao, YAN Yu-jie, XIE Hui-jun, <i>et al.</i>	(1392)
Running Condition and Bacterial Community Associated with the Partial Nitritation System .....	ZHAO Zhi-rui, JIAO Hai-hua, CUI Bing-jian, <i>et al.</i>	(1399)
Using Excess Activated Sludge Treated 4-Chlorophenol Contained Waste Water to Cultivate <i>Chlorella vulgaris</i> .....	WANG Lu, CHEN Xiu-rong, YAN Long, <i>et al.</i>	(1406)
Effects of Total Nitrogen and BOD <sub>5</sub> /TN on Anaerobic Ammonium Oxidation-Denitrification Synergistic Interaction of Mature Landfill Leachate in Aged Refuse Bioreactor .....	YANG Ying-ying, CHEN Yi, LI Ming-jie, <i>et al.</i>	(1412)
Altitudinal Gradient Distribution and Source Analysis of PAHs Content of Topsoil in Jinfo Mountain, Chongqing .....	SHI Yang, SUN Yu-chuan, LIANG Zuo-bing, <i>et al.</i>	(1417)
Characteristics and Inputs of Cd Contamination in Paddy Soils in Typical Mining and Industrial Areas in Youxian County, Hunan Province .....	ZHANG Min, WANG Mei-e, CHEN Wei-ping, <i>et al.</i>	(1425)
Effects of Canalization on the Iron Deposition in Sanjiang Plain .....	SU Wen-hui, YU Xiao-fei, WANG Guo-ping, <i>et al.</i>	(1431)
Effects of Phosphate and Zeolite on the Transformation of Cd Speciation in Soil .....	WANG Xiu-li, LIANG Cheng-hua, MA Zi-hui, <i>et al.</i>	(1437)
Leaching Remediation of Copper and Lead Contaminated Lou Soil by Saponin Under Different Conditions .....	DENG Hong-xia, YANG Ya-li, LI Zhen, <i>et al.</i>	(1445)
Accumulation Characteristics and Evaluation of Heavy Metals in Soil-Crop System Affected by Wastewater Irrigation Around a Chemical Factory in Shenmu County .....	QI Yan-bing, CHU Wan-lin, PU Jie, <i>et al.</i>	(1453)
Effects of Organic and Inorganic Slow-Release Compound Fertilizer on Different Soils Microbial Community Structure .....	WANG Fei, YUAN Ting, GU Shou-kuan, <i>et al.</i>	(1461)
Response of Maize to Lead Stress and Relevant Chemical Forms of Lead .....	CHENG Hai-kuan, ZHANG Biao, JING Xin-xin, <i>et al.</i>	(1468)
Effect of Boron-antimony Interaction on the Uptake and Accumulation of Antimony and Boron by Rice Seedling .....	XIANG Meng, HUANG Yi-zong, CAI Li-qun, <i>et al.</i>	(1474)
Effects of Arbuscular Mycorrhizal Fungi on the Growth of Reeds in Wetland Soils with Different Salt Content .....	GUO Jiang-yuan, GUO Wei, BI Na, <i>et al.</i>	(1481)
A Contrastive Study on Salt-alkaline Resistance and Removal Efficiency of Nitrogen and Phosphorus by <i>Phragmites australis</i> and <i>Typha angustifolia</i> in Coastal Estuary Area .....	CHEN You-yuan, SUN Ping, CHEN Guang-lin, <i>et al.</i>	(1489)
Soil Microbial Respiration Under Different Soil Temperature Conditions and Its Relationship to Soil Dissolved Organic Carbon and Invertase .....	WU Jing, CHEN Shu-tao, HU Zheng-hua, <i>et al.</i>	(1497)
Comparison Analysis of Economic and Engineering Control of Industrial VOCs .....	WANG Yu-fei, LIU Chang-xin, CHENG Jie, <i>et al.</i>	(1507)

# 《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)

2015年4月15日 第36卷 第4期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 36 No. 4 Apr. 15, 2015

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: 120.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行