

# 环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第35卷 第10期

Vol.35 No.10

**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

基于虚拟撞击原理的固定源 PM<sub>10</sub>/PM<sub>2.5</sub> 采样器的研制 ..... 蒋靖坤, 邓建国, 段雷, 张强, 李振, 陈小彤, 李兴华, 郝吉明 (3639)

1992~2012年福州市和厦门市酸雨变化特征及影响因素 ..... 郑秋萍, 王宏, 陈彬彬, 隋平, 林文 (3644)

青岛近海不同天气状况下大气气溶胶中金属元素浓度分布特征研究 ..... 陈晓静, 祁建华, 刘宁, 张翔宇, 申恒青, 刘明旭 (3651)

化学合成类制药行业工艺废气 VOCs 排放特征与危害评估分析 ..... 李嫣, 王浙明, 宋爽, 徐志荣, 许明珠, 徐威力 (3663)

烧结过程 NO<sub>x</sub> 和 SO<sub>2</sub> 形成规律及烧结料组成对 NO<sub>x</sub> 排放的影响 ..... 任重培, 朱天乐, 朱廷钰, 吕栋 (3669)

废茶活性炭脱硫脱硝性能的应用研究 ..... 宋磊, 张彬, 邓文 (3674)

黑河中游边缘荒漠-绿洲非饱和带土壤质地对土壤氮积累与地下水氮污染的影响 ..... 苏永中, 杨晓, 杨荣 (3683)

海河流域河流生态系统健康评价 ..... 郝利霞, 孙然好, 陈利顶 (3692)

台州长潭水库铁锰质量浓度变化特征及其成因分析 ..... 刘树元, 郑晨, 袁琪, 王先兵, 王稀炎 (3702)

山地城市新建湖库氮磷营养盐时空特征研究 ..... 包静玥, 鲍建国, 李立青 (3709)

岩溶地下水水文地球化学对降雨的响应: 以重庆雪玉洞地下河系统为例 ..... 王凤康, 梁作兵, 于正良, 江泽丽 (3716)

岩溶地下河流域水中多环芳烃污染特征及生态风险评价 ..... 蓝家程, 孙玉川, 田萍, 卢丙清, 师阳, 徐昕, 梁作兵, 杨平恒 (3722)

废旧电器拆解区河流沉积物中多溴联苯醚 (PBDEs) 的污染特征与生态风险 ..... 陈宣宇, 薛南冬, 张石磊, 李发生, 龚道新, 刘博, 孟磊 (3731)

海河流域中南部河流沉积物的重金属生态风险评价 ..... 王瑞霖, 程先, 孙然好 (3740)

大辽河口 COD 与 DO 的分布特征及其影响因素 ..... 杨福霞, 简慧敏, 田琳, 姚庆祯 (3748)

辽河下游 CDOM 吸收与荧光特性的季节变化研究 ..... 邵田田, 赵莹, 宋开山, 杜嘉, 丁智 (3755)

伊乐藻和氮循环菌技术对太湖氮素吸收和反硝化的影响 ..... 刘丹丹, 李正魁, 叶忠香, 张万广 (3764)

地表水体放线菌分离鉴定与致嗅能力研究 ..... 陈娇, 白晓慧, 卢宁, 王先云, 章永辉, 吴潘成, 郭心驰 (3769)

地下水循环井技术修复硝基苯污染含水层效果模拟 ..... 白静, 赵勇胜, 孙超, 秦传玉, 于凌 (3775)

茶叶基水合氧化铁吸附水体中 Pb(II) 的性能 ..... 万顺利, 薛瑶, 马钊钊, 刘国斌, 余艳霞, 马明海 (3782)

紫外辐射对小分子有机酸化学凝聚性作用途径探讨 ..... 王文东, 王亚博, 范庆海, 丁真真, 王文, 宋珊, 张银婷 (3789)

水中普萘洛尔的紫外光降解机制及其产物毒性 ..... 彭娜, 王开峰, 刘国光, 曾令泽, 姚锟, 吕文英 (3794)

二氧化钛 (P25) 光催化降解二苯甲酸的研究 ..... 王阿楠, 滕应, 骆永明 (3800)

碳氮比对聚氨基酯生物膜反应器短程硝化反硝化的影响 ..... 谭冲, 刘颖杰, 王薇, 邱珊, 马放 (3807)

城市污泥中温厌氧消化过程中厌氧耐药菌的分布与去除研究 ..... 佟娟, 王元月, 魏源送 (3814)

快速城市化区域表层土壤中杀虫剂的空间分布及风险评估 ..... 韦燕莉, 鲍志君, 巫承洲, 曾永平 (3821)

重庆铁山坪马尾松林土壤汞排放特征的现场测试 ..... 杜宝玉, 王琼, 罗遥, 段雷 (3830)

应用 X 射线吸收近边结构谱研究东北农耕地土壤中的氯种态及含量 ..... 李晶, 郎春燕, 马玲玲, 徐殿斗, 郑雷, 路雨楠, 崔丽瑞, 张晓萌 (3836)

植被重建下煤矿排土场土壤熟化过程中碳储量变化 ..... 李俊超, 党廷辉, 郭胜利, 薛江, 唐骏 (3842)

硫素对氧化还原条件下水稻土氧化铁和砷形态影响 ..... 唐冰培, 杨世杰, 王代长, 饶伟, 张亚楠, 王丹, 朱云集 (3851)

外生菌根真菌对 Al<sup>3+</sup> 胁迫和低钾土壤的响应 ..... 张薇, 黄建国, 袁玲, 李阳波, 何林卫 (3862)

长期施用猪粪水稻土抗生素抗性基因污染研究 ..... 黄福义, 李虎, 韦蓓, 欧阳纬莹, 苏建强 (3869)

外源添加磷和有机酸模拟铅污染土壤钝化效果及产物的稳定性研究 ..... 左继超, 高婷婷, 苏小娟, 万田英, 胡红青 (3874)

污染场地六价铬的还原和微生物稳定化研究 ..... 郑家传, 张建荣, 刘希雯, 许倩, 施维林 (3882)

热强化气相抽提对不同质地土壤中苯去除的影响 ..... 李鹏, 廖晓勇, 阎秀兰, 崔晓勇, 马栋 (3888)

O<sub>3</sub> 浓度升高对南方城市绿化树种氮素的影响 ..... 杨田田, 张巍巍, 胡恩柱, 王效科, 田媛, 冯兆忠 (3896)

施氮强度对不同土壤有机碳水平按树林温室气体通量的影响 ..... 李睿达, 张凯, 苏丹, 逯非, 万五星, 王效科, 郑华 (3903)

<sup>13</sup>C<sub>2</sub>O 示踪臭氧胁迫对水稻土壤微生物的影响 ..... 陈展, 王效科, 尚鹤 (3911)

表面活性剂 *Burkholderia xenovorans* LB400 体系对低氯代 PCBs 的好氧强化降解 ..... 陈少毅, 张静, 汪涵, 任源 (3918)

耐高氨氮异养硝化-好氧反硝化菌 TN-14 的鉴定及其脱氮性能 ..... 信欣, 姚力, 鲁磊, 冷璐, 周迎芹, 郭俊元 (3926)

微氧环境中电化学活性微生物的分离与鉴定 ..... 吴松, 肖勇, 郑志勇, 郑越, 杨朝晖, 赵峰 (3933)

电极活性菌分离过程中微生物群落结构动态特征解析 ..... 王敏, 赵阳国, 卢珊珊 (3940)

铜对草鱼及花鲢的毒性预测: 基于生物配体模型 ..... 王万宾, 陈莎, 吴敏, 赵婧 (3947)

天鹅洲故道底栖动物群落特征及水质生物学评价 ..... 马秀娟, 沈建忠, 王腾, 王海生, 黄丹, 孙广文, 龚成 (3952)

水生生物基准推导中物种选择方法研究 ..... 张铃松, 王业耀, 孟凡生, 周岳溪, 于海斌 (3959)

生产源区人血清中六溴环十二烷水平与甲状腺激素相关性研究 ..... 李鹏, 杨从巧, 金军, 王英, 刘伟志, 丁问微 (3970)

金属氧化物-Laponite 黏土复合材料负载氧化钴催化剂的制备及对苯的催化消除性能 ..... 牟真, 麻春艳, 程杰, 李进军 (3977)

CuO(-CeO<sub>2</sub>)/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 催化剂对苯催化氧化性能研究 ..... 查键, 周宏仓, 何都良, 单龙, 张露, 谢婕 (3984)

生物毒性检测在水质安全评价中的应用 ..... 徐建英, 赵春桃, 魏东斌 (3991)

某城市城镇污水处理厂 COD 排放现状评价分析 ..... 周羽化, 卢延娜, 张虞, 朱静, 雷晶, 申晨, 武雪芳 (3998)

北京市再生水利用生态环境效益评估 ..... 范育鹏, 陈卫平 (4003)

我国持久性有机污染物污染事故预警指标体系构建 ..... 王琳, 吕永龙, 贺桂珍, 王铁宇 (4009)

环境损害评估: 构建中国制度框架 ..... 张红振, 王金南, 牛坤玉, 董璟琦, 曹东, 张天柱, 骆永明 (4015)

《环境科学》征稿简则 (3887)      《环境科学》征订启事 (4008)      信息 (3730, 3739, 3774, 3895)

# 台州长潭水库铁锰质量浓度变化特征及其成因分析

刘树元<sup>1</sup>, 郑晨<sup>2</sup>, 袁琪<sup>2</sup>, 王先兵<sup>1\*</sup>, 王秭炎<sup>1</sup>

(1. 台州学院建筑工程学院, 台州 318000; 2. 浙江黄岩自来水公司, 台州 318020)

**摘要:** 2013 年 1 月以及 4~12 月对浙江省台州市长潭水库库区及其入库河流进行调查, 同时结合历年监测数据, 考察了水源水库中铁、锰质量浓度的变化特征, 并依据水库水体温度、溶解氧(DO)随水体深度的变化, 探讨了铁、锰超标的成因. 结果表明, 长潭水库水体中铁锰质量浓度季节性变化特征明显, 铁、锰质量浓度在 6~8 月较高, 水库出水口处历年最高值分别为  $2.38 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  和  $1.24 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ . 铁、锰质量浓度超出《地表水环境质量标准》(GB 38382002) 中  $0.3 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  和  $0.1 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  限值的情况主要发生在 5~10 月, 2013 年水库出水口处铁锰峰值分别超标 5.6 倍和 12.4 倍. 入库河流铁锰质量浓度最高值分别为  $0.89 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  和  $0.56 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , 均小于同期水库出水口处铁锰质量浓度, 综合分析表明外源污染并非库区水体铁锰的主要来源. 7 月铁锰在水库底层的质量浓度达到最大, 分别为  $2.42 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  和  $1.20 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ . 水体温度、溶解氧以及铁锰质量浓度在夏季的垂向分布特征表明水体热分层引起的季节性缺氧导致了沉积物中铁锰的释放, 热分层效应引发的内源污染是库区水体铁锰超标的直接原因. 水源水库铁锰污染的控制应该采用高效直接的原位水质改善和修复技术.

**关键词:** 长潭水库; 饮用水源; 铁锰; 垂向分布; 热分层; 内源污染

中图分类号: X832 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2014)10-3702-07 DOI: 10.13227/j.hjx.2014.10.009

## Analysis on the Variation Characteristics of Iron and Manganese Concentration and Its Genesis in Changtan Reservoir in Taizhou, Zhejiang Province

LIU Shu-yuan<sup>1</sup>, ZHENG Chen<sup>2</sup>, YUAN Qi<sup>2</sup>, WANG Xian-bing<sup>1</sup>, WANG Zi-yan<sup>1</sup>

(1. School of Civil Engineering and Architecture, Taizhou University, Taizhou 318000, China; 2. Zhejiang Huangyan Water Supply Company, Taizhou 318020, China)

**Abstract:** Changtan Reservoir in Taizhou City Zhejiang Province and its inflow rivers were surveyed in January and from April to December in 2013. Based on those data and the water quality monitoring data in Changtan Reservoir collected in previous years, the change characteristics of iron and manganese concentrations in source water reservoir were investigated. Furthermore, the causes of water pollution by iron and manganese were discussed based on the variation of water temperature, dissolved oxygen (DO) in reservoir with water depth. The results showed that the seasonal variation characteristics of iron and the manganese concentrations in reservoir were much in evidence. Their concentrations were high from June to August and the highest values over the years at the outlet of Changtan Reservoir were  $2.38 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  and  $1.24 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , respectively. The iron and the manganese concentrations exceeded the Surface Water Environment Quality Standard (GB 38382002) of  $0.3 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  and  $0.1 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  from May to October. And in 2013, their highest values in the reservoir outlet exceeded the standard by 5.6 times and 12.4 times, respectively. The maxima of iron and manganese concentrations in the major rivers were  $0.89 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  and  $0.56 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , which were lower than those in the reservoir outlet. The comprehensive analysis result indicated that the exogenous pollution was not the major source of iron and manganese in the reservoir. The iron and manganese concentration at the bottom of the reservoir reached the maximum in July,  $2.42 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  and  $1.20 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , respectively. The typical vertical distribution of temperature, DO and iron and manganese concentrations in the reservoir in summer showed that seasonal anoxic environment caused by the thermal stratification led to the release of iron manganese from the deposits. The endogenous pollution caused by thermal stratification effect was the direct cause for the high iron and manganese concentrations in water. To control iron and manganese pollution in drinking water resource reservoir, efficient and direct in situ water quality improvement and repair technology should be developed.

**Key words:** Changtan Reservoir; drinking water resource; iron and manganese; vertical distribution; thermal stratification; endogenous pollution

浙江省地形多变, 雨量充沛, 水力资源丰富, 水库是浙江省城镇生活生产用水的主要供水水源. 浙江省已建成水库 4 000 余座, 其中大中型水库 173 座. 然而, 浙江省水库大部分建于 20 世纪 50~70 年代, 随着时间的推移和区域经济的发展, 水源水库水质恶化态势明显, 铁锰超标[系指超出我国《地表水环境质量标准》(GB 38382-2002) 规定的集中式

生活饮用水地表水源中铁、锰标准限值  $0.3 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  和  $0.1 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , 下同]现象时有发生<sup>[1]</sup>. 例如: 舟山

收稿日期: 2014-03-09; 修订日期: 2014-04-13

基金项目: 国家自然科学基金项目(51279121); 台州市科技计划项目(121ZD10)

作者简介: 刘树元(1971~), 男, 博士, 讲师, 主要研究方向为水环境污染与防治, E-mail: lxmxm521@163.com

\* 通讯联系人, E-mail: lxmxm521@126.com

市虹桥水库、岑港水库、洞岱水库和台州市的长潭水库存在较为典型的铁锰超标问题<sup>[2,3]</sup>。

饮用水源受铁、锰污染,使自来水厂取水水质铁、锰超标,增加了水厂净水工艺处理难度,进而对供水管网系统、居民生活和工业生产等造成严重威胁<sup>[4]</sup>。目前,对于由水体热分层引起的污染物质量浓度的垂向分布特征已经基本达成共识。马越<sup>[5]</sup>在对北方河道型水库研究后发现热分层时期,水库湖泊区总磷、氨氮质量浓度沿水深加大增长迅速,底层氨氮质量浓度与溶解氧质量浓度间存在显著的负相关,徐毓荣等<sup>[6,7]</sup>对于贵州阿哈水库 20 m 深水体多年的水质监测结果表明,水库铁锰质量浓度随着水温分层呈现明显的垂直分布规律,高质量浓度铁锰主要出现在水温分层期水库的中下层。但是对于地表水体铁锰超标的原因则存在不同意见,如陈心凤等<sup>[2]</sup>对浙江省舟山本岛与普陀山岛的饮用水源的水质监测后认为舟山水库与河流中铁、锰质量浓度主要受当地水文地质环境、降雨和台风等自然因素影响,舟山大陆引水中铁、锰质量浓度主要受引用的姚江水质和输水过程中的二次污染影响。而另一部分研究人员则认为内源污染则是导致水源水库铁锰超标以及水质恶化的直接原因,并已经采取一定的工程措施进行解决<sup>[8-11]</sup>。如汪福顺等<sup>[8]</sup>认为,在水体季节性缺氧期间,沉积物中部分重金属将大量释放到水体中,严重威胁水质安全,并发现铁锰的最大释放发生在水体缺氧事件的 50 h 内。

由于对于铁锰质量浓度分布特征以及铁锰超标的原因还存在分歧,导致水源水库水环境修复工作的重心偏移,在浪费了大量的人力、财力和物力的同时,铁锰污染的控制工作见效缓慢,污染趋势没有得到有效遏制。为此,本文以台州长潭水库为研究对象,对于饮用水源湖库中铁、锰污染特征及其超标成因进行分析,以期为水源湖库水质污染的改善和修复提供新的解决思路。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究地点

长潭水库 (N28°30′~28°40′, E121°00′~121°04′) 位于浙江省台州市椒江支流永宁江上游,水库坝址在台州市黄岩区长潭山与伏虎山之间,距黄岩城区 22 km。水库坝址以上流域集雨面积 441.3 km<sup>2</sup>,流域多年平均年降水量 1 935 mm,总库容 7.32 亿 m<sup>3</sup>,正常库容 4.57 亿 m<sup>3</sup>,是一座以防洪、供水、灌溉为主,结合发电、淡水养殖等综合利用的大

(II)型水库,也是治理永宁江和温黄平原灌区的大型水利骨干工程。水库流域呈扇形状,有柔极溪、黄岩溪、联丰溪三条主要溪流。

## 1.2 研究方法

### 1.2.1 样品采集

2013 年 4~12 月期间,对长潭水库库区和入库河流进行了 20 次集中采样检测,每隔 15 d 左右采样 1 次,每月采样 2~3 次。如图 1 所示,水库库区设采样点共 3 个,分别为大坝 (N28°36′20.18″, E121°03′40.31″),温潭 (N28°35′51.22″, E121°01′38.32″) 和大众旺 (N28°31′57.81″, E121°01′56.76″),其中,由于长潭水库的出水口位于大坝附近水库库底以上 3.5 m 处,距大坝采样点较近,因此以大坝采样点在库底 3.5 m 处的水样代表长潭水库出水水质状况,而温潭和大众旺采样点为入库河流进水区域,采样点水深位于水库中层,代表入库河流进入水库后的水质状况。监测期间,大坝采样点水深为 19.5~24 m,大众旺为 4~7 m,温潭为 5~8 m。入库河流采样点 3 个,分别设在柔极溪 (N28°38′3.60″, E121°0′43.44″)、黄岩溪 (N28°36′11.48″, E121°0′13.29″)、联丰溪 (N28°35′19.18″, E120°58′49.01″) 下游。监测期间柔极溪、黄岩溪、联丰溪水深为 1~2 m,采样点均位于河流中游主流线的中层。

为了进一步探明长潭水库铁锰超标的成因,在铁锰质量浓度较低的 2013 年 1 月和超标较为严重

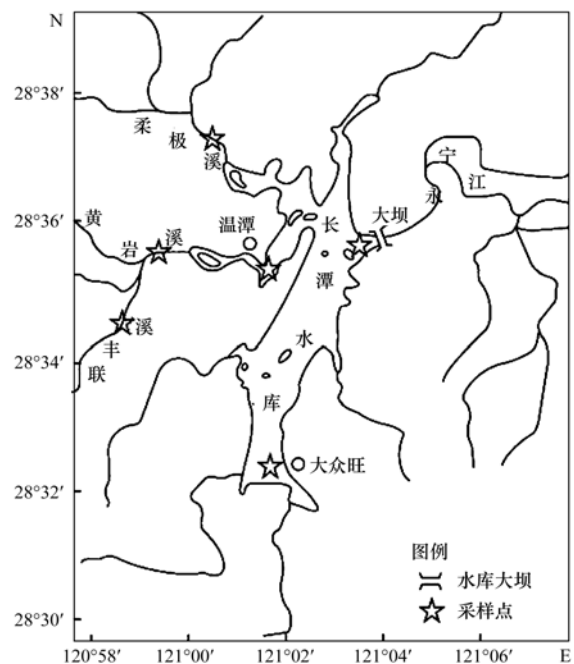


图 1 长潭水库采样点位置示意

Fig. 1 Location of sampling sites in Changtan Reservoir

的 2013 年 6~9 月对长潭水库大坝采样点各深度的水体取样检测水温、溶解氧和铁锰,考察水库铁锰质量浓度的垂向分布特征. 其中 1 月取样 3 次,6~9 月取样与大坝出水口处取样同期,将每月各水深数据取平均值进行处理. 在检测时期内长潭水库大坝采样点最大水深为 20~24 m 不等.

### 1.2.2 样品测定

现场检测水温、水深和溶解氧(DO),采用意大利产 HANNA 便携式水质分析仪进行;由于旨在考察铁锰质量浓度对于饮用水源的影响,而饮用水厂处理工艺对于浊度的控制较好(低于 1NTU),颗粒态铁锰对于水质的影响较小,为此,水样经 0.45 $\mu\text{m}$  滤膜过滤后,实验室检测溶解性总铁(Fe)和溶解性总锰(Mn)含量,各项指标均按照《生活饮用水标准检验方法(金属指标)》(GB/T 5750.6-006)所规定的方法进行测定. 其中,铁按照二氮杂菲分光光度

法检测,锰按照甲醛肟分光光度法检测,使用仪器为北京普析通用仪器有限责任公司生产的 T6 型紫外可见分光光度计.

### 1.3 数据处理及分析

采用 Origin 7.5 进行制图,并利用 SPASS 16.0 对数据进行统计分析.

## 2 结果与分析

### 2.1 水库中铁、锰历年污染特征

在 2013 年之前,浙江黄岩自来水公司已经开展了长潭水库出水口处的长期水质检测. 图 2 显示了长潭水库 2007~2012 年各年度 4~12 月长潭水库出水口处水质监测结果中溶解性总铁、总锰的变化情况,常年监测数据表明各年度 1~4 月期间,水库中铁、锰质量浓度均较低,因此在图 2 中未列出.

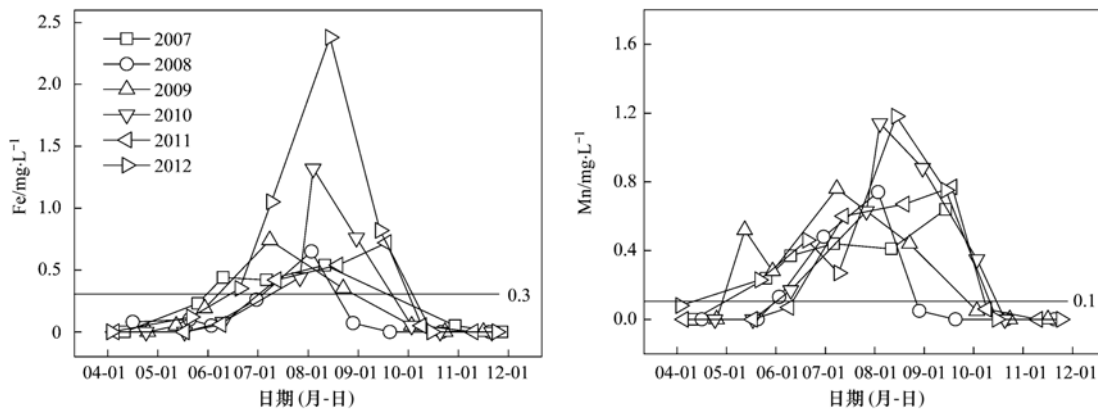


图 2 长潭水库出水口处铁锰质量浓度季节性变化(2007~2012 年)

Fig. 2 Seasonal variations in iron and manganese concentrations in the outlet of Changtan Reservoir(2007-2012)

由图 2 可知,在长潭水库出水口处,6 个年际中铁、锰质量浓度最早在 4 月即开始逐渐增大,最晚在 6 月开始增大,一般开始在 5 月中下旬左右,在 6~8 月增大至最高,9 月开始回落至检测不出(铁锰最低检测质量浓度为 0.05  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  和 0.02  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ,下同). 监测内的各年度 5~11 月中不同程度地出现了铁超标,其中 6 月出现最高值的年度有 1 个,为 2009 年度,最高值为 0.74  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ,7 月出现最高值的年度有 4 个,分别为 2007、2008、2010 和 2012 年度,最高值分别为 0.54、0.65、1.32 和 2.38  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ,8 月出现最高值的有 1 个,为 2011 年,最高值为 0.72  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ . 6 个年度中均出现了锰超标,其中 6 月出现最高值的年度有 1 个,为 2009 年度,最高值分别为 0.76  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ,7 月出现最高值的年度有 3 个,分别为 2008、2010 和 2012 年,最高值分别为

0.74、0.62 和 1.18  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ,8 月出现最高值的有 2 个,为 2007 和 2011 年,最高值为 0.63  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  和 0.75  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ . 长潭水库铁锰质量浓度变化和超标的季节性特征明显.

2013 年 4~12 月监测期间长潭水库大众旺、温潭和大坝出水口处铁锰质量浓度变化如图 3 所示.

由图 3 能够看出,2013 年长潭水库铁锰质量浓度的变化的季节性特征依然明显. 三处采样点铁锰质量浓度均在 5 月开始增大,在 8 月增至最大,9 月开始回落直至检测不出. 铁质量浓度超标时间为 6~10 月,三处采样点峰值均出现在 8 月,其中大坝出水口处为 1.67  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ,大众旺为 0.94  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ,温潭为 1.15  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ . 锰质量浓度超标时间为 5~9 月,三处采样点峰值均出现在 8 月,其中大坝出水口处为 1.24  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ,大众旺为 0.48  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ,温潭为

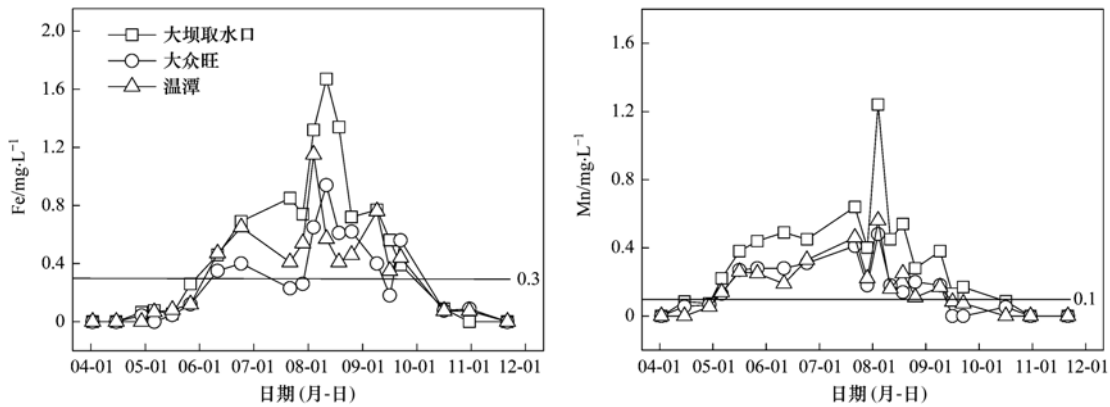


图3 长潭水库大众旺、温潭采样点和大坝出水口处铁锰质量浓度季节性变化(2013)

Fig. 3 Seasonal variations in iron and manganese concentrations in Dazhongwang, Wentan sampling sites and the outlet of Changtan Reservoir(2013)

0.56  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ . 水库出水口处铁锰峰值质量浓度分别超标 5.6 倍和 12.4 倍.

## 2.2 入库河流中铁、锰质量浓度变化特征

2013 年 4 ~ 12 月长潭水库入库河流中铁、锰质量浓度变化情况如图 4 所示.

由图 4 能够看出,河流中铁锰质量浓度变化的季节性特征比较明显. 铁锰质量浓度最高值均集中在 8 月,10 月后达到最低. 从铁锰质量浓度超标情况来看,超标时期集中在 5 ~ 11 月,其中,联丰溪超标时间

最长,黄岩溪次之,柔极溪最少. 从铁锰质量浓度变化趋势来看,随着时间的延续,质量浓度值起伏较大,径流之间的变化特征并不完全相同. 而从铁锰质量浓度变化峰值来看,柔极溪中铁、锰质量浓度最高达  $0.66 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  和  $0.45 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ; 黄岩溪中铁、锰质量浓度最高达  $0.74 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  和  $0.53 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ; 联丰溪中铁、锰质量浓度最高达  $0.89 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  和  $0.56 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , 径流中铁锰质量浓度最高值均出现在联丰溪,且分别超标达 2.97 倍和 5.6 倍.

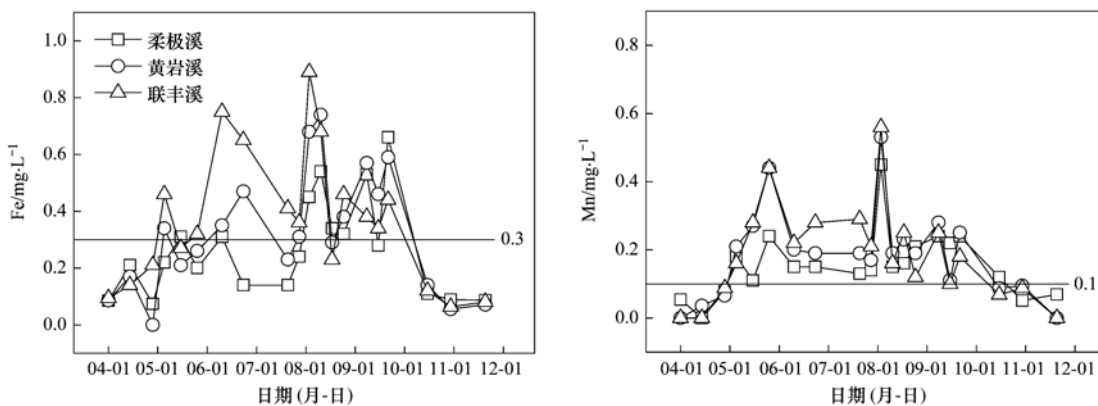


图4 入库河流中铁锰质量浓度的季节性变化(2013)

Fig. 4 Seasonal variations in iron and manganese concentrations in the rivers emptied into Changtan Reservoir(2013)

由图 3 和图 4 的数据对比可知,无论峰值和均值,4 ~ 12 月入库河流中铁、锰质量浓度明显低于同期长潭水库库区大坝出水口处铁、锰质量浓度.

## 2.3 水库铁锰质量浓度的垂向分布特征

2013 年长潭水库大坝采样点水质检测结果中铁、锰质量浓度随水体深度的变化如图 5 所示.

由图 5 能够看出,在 1 月,水体中铁锰质量浓度较低,均不超标,而且随着水体深度的增加没有明显变化特征. 而在 6 ~ 8 月铁锰质量浓度较高,且随着

水体深度的增加,铁、锰质量浓度均呈现逐渐增大的趋势,水体中铁锰质量浓度的垂向分布特征明显. 比较 6 ~ 8 月水体铁锰质量浓度,可知 7 月铁锰质量浓度最高,最高值分别为  $2.42 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  和  $1.20 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ,分别超标达 8.1 倍和 12 倍. 对于铁质量浓度,6 月中,自水体 12 m 开始超标,7 月中,水体全部超标,8 月中,自水体 18m 开始超标; 对于锰质量浓度,取样时期的 3 个月全部超标.

同期检测的大坝采样点处水温和溶解氧随水体



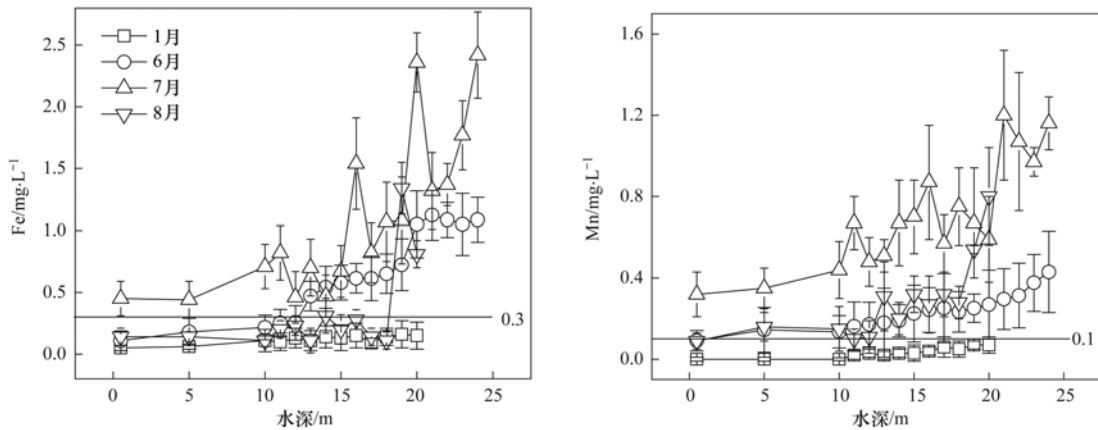


图5 长潭水库大坝采样点水体中铁、锰质量浓度的垂直方向变化(2013)

Fig. 5 Vertical variations in iron and manganese concentrations at the dam sampling point in Changtan Reservoir(2013)

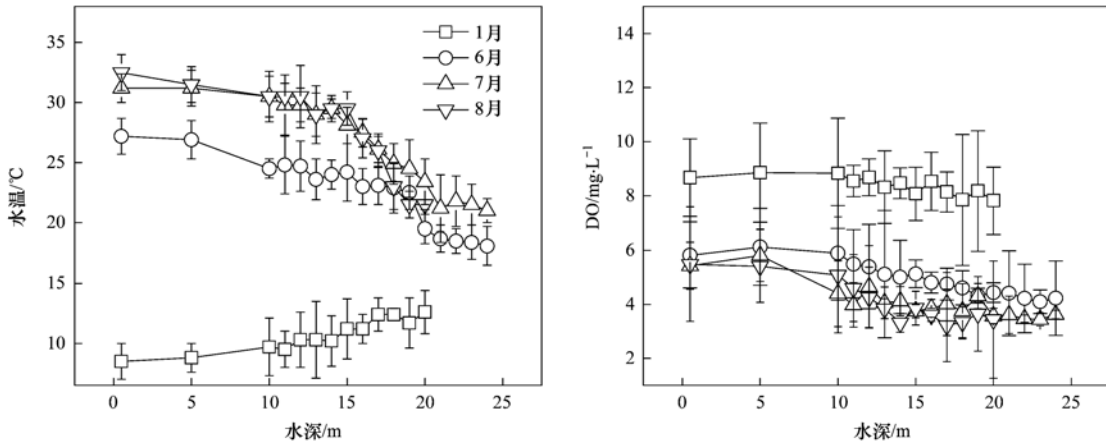


图6 长潭水库大坝采样点水体中水温和 DO 的垂直方向变化(2013)

Fig. 6 Vertical variations in DO and water temperature at the dam sampling point in Changtan Reservoir(2013)

深度的变化如图6所示。

由图6可以看出,1月表层水温受气温影响逐渐下降至 $8.5^{\circ}\text{C}$ ,底层水温略高于上层水温,各层水体溶解氧均在 $7.82\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 以上。6~8月表层水温最高达 $32.5^{\circ}\text{C}$ ,底层水温最低降至 $21.5^{\circ}\text{C}$ ,随着水体深度的增加,水温逐渐降低,呈现明显的热分层,而溶解氧从表层最高 $5.48\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 随着水深的增加逐渐降低到底层的最低 $3.44\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。

由图3和图6的数据对比可知,4~12月入库地表河流中铁、锰质量浓度的均值略大于同期同水深库区大坝表层(5 m以上)水体,而远小于库区大坝深层(10 m以下)水体。

### 3 讨论

#### 3.1 水库水体铁锰质量浓度的季节性变化

地质环境中的铁锰是氧化还原条件敏感性元素<sup>[12]</sup>。在湖库特定的环境条件下,铁锰元素极易从

沉积物释放到上覆水体,从而引起水体的二次污染<sup>[13~15]</sup>。在水源水库中,溶解氧的质量浓度变化对于水体氧化还原环境具有重要影响。在每年的5~10月期间,受气温影响库区水体温度升高,长潭水库表层水体温度可从冬季的 $8^{\circ}\text{C}$ 升高到夏季的 $34^{\circ}\text{C}$ <sup>[16]</sup>。水温的升高使氧在水中的溶解度降低,同时诱发水体中有机物分解和藻类滋生,会使水中溶解氧进一步消耗,因此长潭水库表层水体中的溶解氧可从冬季的 $8.42\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 降低到夏季的 $2.21\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ <sup>[16]</sup>。由于水体氧化条件逐渐向还原条件转变,沉积物中的铁锰元素重新溶于水中,因此,温度随季节的变化导致的水源水库溶解氧变化是水库铁锰质量浓度季节性变化的主要原因。

#### 3.2 入库河流铁锰元素输入对水库铁锰质量浓度变化的影响

地质环境中的铁锰矿物质是水库铁锰元素的根本来源。部分研究人员发现,在经历强烈降雨后,入

库河流中的铁锰质量浓度骤升,因此认为铁锰元素的输入对于水库铁锰质量浓度变化产生了重要影响<sup>[2]</sup>。长潭水库所在地台州市属亚热带季风气候,雨季为5月初至10月初,雨季的降水量一般占全年总量的70%以上。降雨期恰与长潭水库铁锰质量浓度的季节性变化时期相吻合。

但是,本研究发现,在涵盖了全部雨季的监测期内,河流入库区域——大众旺和温潭以及入库河流中铁锰质量浓度的峰值和均值均小于同期水库出水口处铁锰质量浓度,同时,雨季长潭水库充分发挥着消减洪峰的作用,入库水量大于蒸发量,也可以排除由于蒸发作用对于水库水体可溶性铁锰质量浓度的影响,因此可以判定,入库河流铁锰元素输入对水库可溶性铁锰质量浓度变化无明显的直接影响。

入库河流和河流入库区域之所以铁锰质量浓度较低,可能的原因是由于水体溶解氧含量较高造成的。该区域水体普遍水深较浅,光合作用影响显著,水流扰动较大,因而即使在夏季气温较高的情况下,水体中溶解氧质量浓度依然较高,一般可达到 $6 \sim 10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ <sup>[17]</sup>,依然处于较强的氧化环境中。因此,即使存在较高的可溶性铁锰质量浓度输入,也会在氧化作用下逐渐形成颗粒态铁锰从而沉积下来,因而该区域形成了对于可溶性铁锰的天然“过滤”作用。对于进入水库后的颗粒态铁锰只有遇到合适的还原环境才能进入水体,成为可溶态。

事实上,地质环境中的铁锰矿物质对于水体铁锰质量浓度的影响无处不在,不但应关注水库周边铁锰通过入库河流的输送进入水库,更应该将重点集中在水库底部从水库建成时业已存在的铁锰矿物质,这些物质的影响更加直接和高效。因此,对于颗粒态铁锰和地质环境中的铁锰矿物质对于水库水体铁锰质量浓度的影响的关注更应该集中于水库底部。

### 3.3 热分层效应引发的水库季节性缺氧对铁锰质量浓度变化的影响

有研究表明,水库的修建和使用在带来巨大的社会和经济效益的同时,深刻地改变了天然河道的演变属性,促使水环境出现类似于天然湖泊的“湖沼学反应过程”<sup>[18-20]</sup>,水体热分层是湖库普遍存在的共性水环境特征之一<sup>[5]</sup>。

热分层现象易发生在夏季,主要是因为夏季气温较高,容易在水库的深水区形成水温的垂向分布。热分层导致的水体密度差异致使水库不易上下对流混合,上层的溶解氧无法传递到中底层,同时光合作用也难以在此区域发挥明显作用,而有机质等还原

物质的分解又进一步加剧了溶解氧的消耗,因而溶解氧随着水深的增加逐渐降低,氧化性环境逐渐向还原性环境转变<sup>[5]</sup>。夏季的长潭水库已经具有了热分层的显著特征,在水库底层还原环境影响下,沉积物或底层地质环境中的高价态铁、锰还原为低价态而溶于水中,又由于热分层阻碍了各水层之间的物质交换,致使水库底层铁锰质量浓度要远高于表层。因而,水库水体的热分层引发和促进的溶解氧的垂向变化是铁锰质量浓度季节性变化以及呈明显垂直梯度分布特征的直接原因。

冬季气温降低,氧的溶解度升高,上下层水体中的物质和能量能够自由交换,溶解氧能够由上层水体到达底层,整个水体处于氧化状态。水体中可溶性铁、锰被氧化为高价态而形成难溶化合物,逐渐沉积于库底,致使水体中铁、锰质量浓度降低,库区各层水体无铁锰超标现象。

热分层显著抑制动量、热量、营养盐以及水生生物在水体中的垂向输移,作用于水库水动力特征以及生化过程,并带来一系列的水体水质(水化学和水生态)问题<sup>[21-24]</sup>,因而形成所谓的热分层效应。热分层效应不但直接引发水体沉积物中的颗粒态铁锰元素释放进入水体,形成污染源,而且通过垂向温度梯度的“屏障”作用,提高了铁锰的蓄积负荷并促成其污染重度化<sup>[5]</sup>,形成明显的水体污染物的垂直分布特征<sup>[6]</sup>。因此,由铁锰元素在水体中的质量浓度变化特征及垂向分布特征可判定热分层效应引发的内源污染——沉积物中铁锰的释放是长潭水库铁锰季节性超标的直接原因。

在水源水库铁锰污染的改善和修复工作中,由于对于热分层效应引发的水库水体铁锰质量浓度变化的认识不足,导致相应的破坏水体分层、增加底层水体复氧能力的原位水质防治工作滞后,对于热分层结构失稳引发的水质污染突发事件的重视和防范不足<sup>[25-27]</sup>,致使水源水库铁锰超标问题的解决一直没有起色,尤其对于如长潭水库等绿化程度较高,人为活动干扰较少,夏季温度较高的南方水库,铁锰超标问题甚至有逐渐加剧的趋势。因此,在饮用水库的水质改善和修复工作中,对于热分层效应引起的内源污染应该引起足够重视并采取相应的措施。

## 4 结论

(1)作为饮用水源地的长潭水库在每年5~10月出现了铁、锰质量浓度超标现象,铁锰质量浓度的季节性特征明显。2013年检测水库中铁、锰质量



浓度最高分别为  $2.42 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  和  $1.20 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ; 同期入库河流水质监测结果表明, 铁、锰质量浓度最高分别达  $0.89 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  和  $0.56 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , 峰值和均值均低于大坝出水口处铁锰质量浓度. 铁锰输入导致的外源污染非水源水库铁锰超标的主要原因.

(2) 长潭水库水体温度在夏季热分层特征明显, 直接导致溶解氧含量和铁锰质量浓度呈现明显的垂直分布规律, 表明热分层导致的沉积物中铁锰在还原环境下的释放作用即水库水体的内源污染是水库水体铁锰超标的直接原因.

(3) 针对饮用水源中铁、锰污染的内源污染成因, 相关部门应重视热分层影响下的水库铁、锰质量浓度的响应机制, 应该采取更加积极、直接和高效的原位水质控制技术措施, 破坏夏季水体的热分层, 增强底层水体的复氧能力, 改善和修复库区内源污染, 保证用水单位进水水质达标.

#### 参考文献:

- [ 1 ] 吕振平, 董华, 何锡君. 浙江省供水水库的水质评价及富营养化防治对策研究[J]. 水生态学杂志, 2010, **3**(1): 18-21.
- [ 2 ] 陈心凤, 邵卫云, 宋瑞平, 等. 舟山饮用水源中铁锰污染及其成因分析[J]. 地球与环境, 2011, **39**(2): 181-187.
- [ 3 ] 翁国永, 叶素红. 长潭水库铁锰超标原因分析及防治对策[J]. 科技信息, 2007, (18): 509, 506.
- [ 4 ] 张杰, 戴镇生. 地下水除铁除锰现代观[J]. 给水排水, 1996, **22**(10): 13-16.
- [ 5 ] 马越. 北方河道型深水水库季节性分层的水质响应特征及其水质污染原位控制研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2012.
- [ 6 ] 徐毓荣, 徐钟际, 向申, 等. 季节性缺氧水库铁、锰垂直分布规律及优化分层取水研究[J]. 环境科学学报, 1999, **19**(2): 147-152.
- [ 7 ] 徐毓荣, 徐钟际, 徐玮, 等. 水温分层型水库铁、锰垂直分布特征[J]. 湖泊科学, 1999, **11**(2): 117-122.
- [ 8 ] 汪福顺, 刘丛强, 梁小兵, 等. 铁锰在贵州阿哈湖沉积物中的分离[J]. 环境科学, 2005, **26**(1): 135-140.
- [ 9 ] 汪福顺, 刘丛强, 灌瑾, 等. 贵州阿哈水库沉积物中重金属二次污染的趋势分析[J]. 长江流域资源与环境, 2009, **18**(4): 379-383.
- [ 10 ] Bryant L D, Hsu-Kim H, Gantzer P A, *et al.* Solving the problem at the source: Controlling Mn release at the sediment-water interface via hypolimnetic oxygenation [ J ]. Water Research, 2011, **45**(19): 6381-6392.
- [ 11 ] 黄廷林, 柴蓓蓓. 水源水库水质污染与富营养化控制技术研
- 究进展[J]. 地球科学进展, 2009, **24**(6): 588-596.
- [ 12 ] 邹建军, 石学法, 李乃胜, 等. 长江口氧化还原敏感元素的早期成岩过程[J]. 地球科学(中国地质大学学报), 2010, **35**(1): 31-42.
- [ 13 ] Almeida C M R, Mucha A P, Vasconcelos M T S D. Influence of the sea rush *Juncus maritimus* on metal concentration and speciation in estuarine sediment colonized by the plant [ J ]. Environmental Science & Technology, 2004, **38**(11): 3112-3118.
- [ 14 ] Bryan G W, Langston W J. Bioavailability, accumulation and effects of heavy metals in sediments with special reference to United Kingdom estuaries: a review [ J ]. Environmental Pollution, 1992, **76**(2): 89-131.
- [ 15 ] 张锡辉. 水环境修复工程学原理与应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2002.
- [ 16 ] 陈晓芳, 曹瑛杰. 浙江省长潭水库富营养化特征研究[J]. 安徽农业科学, 2008, **36**(19): 8245-8248.
- [ 17 ] 沙鸥, 马卫兴, 徐国想, 郭妍. 地表水中溶解氧监测及变化规律[J]. 环境监测管理与技术, 2008, **20**(1): 48-50.
- [ 18 ] 董哲仁. 河流形态多样性与生物群落多样性[J]. 水利学报, 2003, **34**(11): 1-6.
- [ 19 ] 王雨春, 朱俊, 马梅, 等. 西南峡谷型水库的季节性分层与水质的突发性恶化[J]. 湖泊科学, 2005, **17**(1): 54-60.
- [ 20 ] 林国恩, 望甜, 林秋奇, 等. 广东流溪河水库湖沼学变量的时空动态特征[J]. 湖泊科学, 2009, **21**(3): 387-394.
- [ 21 ] 赵孟绪, 雷腊梅, 韩博平. 亚热带水库浮游植物群落季节变化及其影响因素分析——以汤溪水库为例[J]. 热带亚热带植物学报, 2005, **13**(5): 386-392.
- [ 22 ] 贺冉冉, 罗激葱, 朱广伟, 等. 天目湖溶解氧变化特征及对内源氮释放的影响[J]. 生态与农村环境学报, 2010, **26**(4): 344-349.
- [ 23 ] Geller W. The temperature stratification and related characteristics of Chilean lakes in midsummer [ J ]. Aquatic Sciences, 1992, **54**(1): 37-57.
- [ 24 ] Kjensmo J. Internal energy, the work of the wind, and the thermal stability in Lake Tyrifjord, southeastern Norway [ J ]. Hydrobiologia, 1994, **286**(1): 53-59.
- [ 25 ] 苏玉萍, 郑达贤, 林婉珍, 等. 福建省山仔水库水体季节性分层特征研究[J]. 福建师范大学学报(自然科学版), 2007, **23**(3): 1-4.
- [ 26 ] Cong H B, Huang T L, Chai B B, *et al.* A new mixing-oxygenating technology for water quality improvement of urban water source and its implication in a reservoir [ J ]. Renewable Energy, 2009, **34**(9): 2054-2060.
- [ 27 ] 夏品华, 林陶, 李存雄, 等. 贵州高原红枫湖水库季节性分层的水环境质量响应[J]. 中国环境科学, 2011, **31**(9): 1477-1485.

## CONTENTS

Development of a Two Stage Virtual Impactor for Stationary Source PM <sub>10</sub> and PM <sub>2.5</sub> Sampling .....	JIANG Jing-kun, DENG Jian-guo, DUAN Lei, <i>et al.</i> (3639)
Characteristics and the Impact Factors of Acid Rain in Fuzhou and Xiamen 1992-2012 .....	ZHENG Qiu-ping, WANG Hong, CHEN Bin-bin, <i>et al.</i> (3644)
Concentration Distribution of Metal Elements in Atmospheric Aerosol Under Different Weather Conditions in Qingdao Coastal Region .....	CHEN Xiao-jing, QI Jian-hua, LIU Ning, <i>et al.</i> (3651)
Emission Characteristics and Hazard Assessment Analysis of Volatile Organic Compounds from Chemical Synthesis Pharmaceutical Industry .....	LI Yan, WANG Zhe-ming, SONG Shuang, <i>et al.</i> (3663)
NO <sub>x</sub> and SO <sub>2</sub> Formation in the Sintering Process and Influence of Sintering Material Composition on NO <sub>x</sub> Emissions .....	REN Zhong-pei, ZHU Tian-le, ZHU Ting-yu, <i>et al.</i> (3669)
Application of Activated Carbon from Waste Tea in Desulfurization and Denitrification .....	SONG Lei, ZHANG Bin, DENG Wen (3674)
Effect of Soil Texture in Unsaturated Zone on Soil Nitrate Accumulation and Groundwater Nitrate Contamination in a Marginal Oasis in the Middle of Heihe River Basin .....	SU Yong-zhong, YANG Xiao, YANG Rong (3683)
Health Assessment of River Ecosystem in Haihe River Basin, China .....	HAO Li-xia, SUN Ran-hao, CHEN Li-ding (3692)
Analysis on the Variation Characteristics of Iron and Manganese Concentration and Its Genesis in Changtan Reservoir in Taizhou, Zhejiang Province .....	LIU Shu-yuan, ZHENG Chen, YUAN Qi, <i>et al.</i> (3702)
Spatiotemporal Characteristics of Nitrogen and Phosphorus in a Mountainous Urban Lake .....	BAO Jing-yue, BAO Jian-guo, LI Li-qing (3709)
Formation of Geochemistry in Underground River Under Rainfall Conditions: An Example for Underground River at Xueyu Cave, Chongqing .....	WANG Feng-kang, LIANG Zuo-bing, YU Zheng-liang, <i>et al.</i> (3716)
Contamination and Ecological Risk Assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Water and in Karst Underground River Catchment .....	LAN Jia-cheng, SUN Yu-chuan, TIAN Ping, <i>et al.</i> (3722)
Pollution Characteristics and Ecological Risk of Polybrominated Diphenyl Ethers (PBDEs) in River Sediments from an Electrical Equipment Dismantling Area .....	CHEN Xuan-yu, XUE Nan-dong, ZHANG Shi-lei, <i>et al.</i> (3731)
Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in Surface Sediments in the Southern and Central Haihe River Basin .....	WANG Rui-lin, CHENG Xian, SUN Ran-hao (3740)
Distribution Characteristics of COD and DO and Its Influencing Factors in the Daliaohe Estuary .....	YANG Fu-xia, JIAN Hui-min, TIAN Lin, <i>et al.</i> (3748)
Seasonal Variation in the Absorption and Fluorescence Characteristics of CDOM in Downstream of Liaohe River .....	SHAO Tian-tian, ZHAO Ying, SONG Kai-shan, <i>et al.</i> (3755)
Nitrogen Uptake and Denitrification Study on the Joint Treatment of Aquatic Vegetation and Immobilized Nitrogen Cycling Bacteria in Taihu Lake .....	LIU Dan-dan, LI Zheng-kui, YE Zhong-xiang, <i>et al.</i> (3764)
Actinobacteria and Their Odor-producing Capacities in a Surface Water in Shanghai .....	CHEN Jiao, BAI Xiao-hui, LU Ning, <i>et al.</i> (3769)
Laboratory Evaluation of Remediation of Nitrobenzene Contaminated Aquifer by Using Groundwater Circulation Well .....	BAI Jing, ZHAO Yong-sheng, SUN Chao, <i>et al.</i> (3775)
Sorption Characteristics of Tea Waste Modified by Hydrated Ferric Oxide Toward Pb(II) in Water .....	WAN Shun-li, XUE Yao, MA Zhao-zhao, <i>et al.</i> (3782)
Effects of UV Radiation on the Aggregation Performance of Small Molecular Organic Acids .....	WANG Wen-dong, WANG Ya-bo, FAN Qing-hai, <i>et al.</i> (3789)
UV Photolysis of Propranolol in Aqueous Solution: Mechanism and Toxicity of Photoproducts .....	PENG Na, WANG Kai-feng, LIU Guo-guang, <i>et al.</i> (3794)
Photo-catalytic Degradation of Diphenylarsinic Acid by TiO <sub>2</sub> (P25) .....	WANG A-nan, TENG Ying, LUO Yong-ming (3800)
Effect of Carbon/Nitrogen Ratio on Short-Cut Nitrification and Denitrification of Polyurethane Biofilm Reactor .....	TAN Chong, LIU Ying-jie, WANG Wei, <i>et al.</i> (3807)
Distribution and Removal of Anaerobic Antibiotic Resistant Bacteria During Mesophilic Anaerobic Digestion of Sewage Sludge .....	TONG Juan, WANG Yuan-yue, WEI Yuan-song (3814)
Spatial Distribution and Risk Assessment of Insecticides in Surface Soil from a Rapidly Urbanizing Region .....	WEI Yan-li, BAO Lian-jun, WU Cheng-zhou, <i>et al.</i> (3821)
Field Measurement of Soil Mercury Emission in a Masson Pine Forest in Tieshanping, Chongqing in Southwestern China .....	DU Bao-yu, WANG Qiong, LUO Yao, <i>et al.</i> (3830)
Chlorine Speciation and Concentration in Cultivated Soil in the Northeastern China Studied by X-Ray Absorption Near Edge Structure .....	LI Jing, LANG Chun-yan, MA Ling-ling, <i>et al.</i> (3836)
Soil Organic Carbon Storage Changes with Land Reclamation Under Vegetation Reconstruction on Opencast Coal Mine Dump .....	LI Jun-chao, DANG Ting-hui, GUO Sheng-li, <i>et al.</i> (3842)
Effect of Sulfur on the Species of Fe and As Under Redox Condition in Paddy Soil .....	TANG Bing-pei, YANG Shi-jie, WANG Dai-zhang, <i>et al.</i> (3851)
Response of Ectomycorrhizal Fungi to Aluminum Stress and Low Potassium Soil .....	ZHANG Wei, HUANG Jian-guo, YUAN Ling, <i>et al.</i> (3862)
Long-Term Manure Application Induced Shift of Diversity and Abundance of Antibiotic Resistance Genes in Paddy Soil .....	HUANG Fu-yi, LI Hu, WEI Bei, <i>et al.</i> (3869)
Effect of Phosphate and Organic Acid Addition on Passivation of Simulated Pb Contaminated Soil and the Stability of the Product .....	ZUO Ji-chao, GAO Ting-ting, SU Xiao-juan, <i>et al.</i> (3874)
Bioremediation of Chromium(VI) Contaminated Site by Reduction and Microbial Stabilization of Chromium .....	ZHENG Jia-chuan, ZHANG Jian-rong, LIU Xi-wen, <i>et al.</i> (3882)
Effect of Thermal Enhanced Soil Vapor Extraction on Benzene Removal in Different Soil Textures .....	LI Peng, LIAO Xiao-yong, YAN Xiu-lan, <i>et al.</i> (3888)
Effects of Elevated O <sub>3</sub> Concentration on Nitrogen in Greening Tree Species in Southern China .....	YANG Tian-tian, ZHANG Wei-wei, HU En-zhu, <i>et al.</i> (3896)
Effects of Nitrogen Application on Soil Greenhouse Gas Fluxes in <i>Eucalyptus</i> Plantations with Different Soil Organic Carbon Content .....	LI Rui-da, ZHANG Kai, SU Dan, <i>et al.</i> (3903)
Ozone Effects on Soil Microbial Community of Rice Investigated by <sup>13</sup> C Isotope Labeling .....	CHEN Zhan, WANG Xiao-ke, SHANG He (3911)
Enhanced Aerobic Degradation of Low Chlorinated Biphenyls by Constructing Surfactants <i>Burkholderia xenovorans</i> LB400 Based System .....	CHEN Shao-yi, ZHANG Jing, WANG Han, <i>et al.</i> (3918)
Identification of a High Ammonia Nitrogen Tolerant and Heterotrophic Nitrification-Aerobic Denitrification Bacterial Strain TN-14 and Its Nitrogen Removal Capabilities .....	XIN Xin, YAO Li, LU Lei, <i>et al.</i> (3926)
Isolation and Identification of Electrochemically Active Microorganism from Micro-Aerobic Environment .....	WU Song, XIAO Yong, ZHENG Zhi-yong, <i>et al.</i> (3933)
Characteristics of Microbial Community Structure During Isolation of Electrical Active Bacteria .....	WANG Min, ZHAO Yang-guo, LU Shan-shan (3940)
Predicting Copper Toxicity to <i>Hypophthalmichthys molitrix</i> and <i>Ctenopharyngodon idellus</i> Based on Biotic Ligand Model .....	WANG Wan-bin, CHEN Sha, WU Min, <i>et al.</i> (3947)
Macrozoobenthos Community Structure and Water Quality Evaluation of Tian'e Zhou Oxbows .....	MA Xiu-juan, SHEN Jian-zhong, WANG Teng, <i>et al.</i> (3952)
Species Selection Methods in Deriving Water Quality Criteria for Aquatic Life .....	ZHANG Ling-song, WANG Ye-yao, MENG Fan-sheng, <i>et al.</i> (3959)
Correlations Between HBCD and Thyroid Hormone Concentrations in Human Serum from Production Source Area .....	LI Peng, YANG Cong-qiao, JIN Jun, <i>et al.</i> (3970)
Preparation of Cobalt Oxide Mesoporous Metallic Oxide-Clay Composites and Their Catalytic Performance in the Oxidation of Benzene .....	MU Zhen, MA Chun-yan, CHENG Jie, <i>et al.</i> (3977)
Catalytic Degradation of Naphthalene by CuO(-CeO <sub>2</sub> )/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	ZHA Jian, ZHOU Hong-cang, HE Du-liang, <i>et al.</i> (3984)
Toxicity Tests and Their Application in Safety Assessment of Water Quality .....	XU Jian-ying, ZHAO Chun-tao, WEI Dong-bin (3991)
Assessment on the COD Discharge Status of Municipal Wastewater Treatment Plant in a City of China .....	ZHOU Yu-hua, LU Yan-na, ZHANG Yu, <i>et al.</i> (3998)
Assessment of Ecological Environment Benefits of Reclaimed Water Reuse in Beijing .....	FAN Yu-peng, CHEN Wei-ping (4003)
Construction of Index System for Early Warning of Persistent Organic Pollutants (POPs) Pollution Incidents in China .....	WANG Lin, LU Yong-long, HE Gui-zhen, <i>et al.</i> (4009)
Environmental Damages Assessment: Establishment of System Framework in China .....	ZHANG Hong-zhen, WANG Jin-nan, NIU Kun-yu, <i>et al.</i> (4015)

# 《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10月15日 第35卷 第10期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 35 No. 10 Oct. 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