

DOI: 10.3969/j.issn.1004-6933.2011.03.008

底泥疏浚对湖泊内源磷释放的短期效应研究

高慧琴, 刘 凌, 闫 峰, 方泽建

(河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏 南京 210098)

摘要 对大纵湖底泥疏浚的短期效应进行模拟实验, 分析了上覆水体的 Eh、pH 和磷质量浓度随时间的变化规律, 以及沉积物中总磷、无机磷、有机磷、铁/铝磷、钙磷等 5 种形态磷质量比的垂向变化规律。结果表明: 底泥疏浚 30 cm 对上覆水体 Eh、pH 以及磷浓度控制效果不显著, 且沉积物磷形态不是影响沉积物释磷的主要因素。

关键词 底泥疏浚; 磷; 沉积物; 连续提取法; 大纵湖

中图分类号 X143 **文献标识码** A **文章编号** 1004-6933(2011)03-0033-05

Short-term effect of sediment dredging on endogenous phosphorus release

GAO Hui-qin, LIU Ling, YAN Feng, FANG Ze-jian

(State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract : The short-term effect of sediment dredging on endogenous phosphorus release of the Dazong Lake was studied. The variation of Eh, pH and phosphorus content of overlying water with time, and the vertical change of mass ratio of TP, IP, OP, NAIP and AP in sediment phosphorus were analyzed. The results showed that the sediment dredging of 30 cm had no significant effect on the Eh, pH and phosphorus content of overlying water, and the form of phosphorus was not the significant influencing factor of phosphorus release in sediment.

Key words : sediment dredging; phosphorus; sediment; SMT; Dazong Lake

底泥疏浚较多地应用于湖泊富营养化治理中, 但其治理效果目前仍存在很大争议, 因此, 对底泥疏浚环境效应的研究成为一大热点^[1-5]。底泥疏浚的环境效应按时间尺度可分为短期效应和长期效应。疏浚工程试验过程中所引起的再悬浮及对污染物迁移的影响为短期效应, 而疏浚后对污染物的控制效应以及对生态系统的影响则为长期效应。

疏浚过后的湖泊, 在外源性污染得到有效控制的情况下, 内源释放就成为造成水体污染的主要原因^[6]。磷被认为是研究湖泊水体富营养化及其治理的主要限制性营养元素^[7-8]。笔者对大纵湖疏浚后沉积物磷的短期释放规律进行模拟实验, 以期为湖泊最佳疏浚方案的制定提供参考。

1 研究区概况

大纵湖位于江苏省盐城市西南, 距市区约 42 km, 为兴化、盐城界湖, 面积约 3 000 hm²。除北部一块为风景区外, 大纵湖大部分水域均为养殖区, 很多当地渔民以船为家。生活污水随意排放对湖泊水质造成了极大破坏, 同时, 由于存在大量的淡水养殖渔场, 剩余的饲料、鱼虾所排废物等进一步加重了湖泊富营养化现象, 湖底淤泥深度较厚, 最深处大于 1 m。

2 实验方法

2.1 样品采集

样品采集于 2009 年 11 月 13 日进行。现场采

基金项目: 国家自然科学基金(50879018), 国家重点实验室专项(1069-50987112)

作者简介: 高慧琴(1987—), 女, 江西赣州人, 硕士研究生, 研究方向为水环境演变规律与保护。E-mail: ghuiqin87@163.com

通讯作者: 刘凌, 教授。E-mail: lingliu@hhu.edu.cn

用装有 $\varnothing 90\text{ mm} \times 500\text{ mm}$ 有机玻璃管的柱状采样器在大纵湖采样点($119^{\circ}49'11''\text{E}$, $33^{\circ}10'19''\text{N}$)垂直采集2根长度不少于40 cm的沉积物柱芯,一根用于制成模拟疏浚的柱状样,另一根用于沉积物的磷形态分析。为了保证采集的沉积物柱样有较好的同质性,两根柱芯在非常接近的区域内一次性采集。对其中一根用虹吸法抽去上层水体,采用上顶法把表层10 cm沉积物移入到另一洗净的有机玻璃管内($\varnothing 90\text{ mm} \times 500\text{ mm}$),制成模拟未疏浚的柱状样,再切去20 cm厚的沉积物,把剩余沉积物(10 cm长)上顶至另一洗净的有机玻璃管中,制成模拟疏浚30 cm的柱状样。模拟柱状样制作完成后两端用橡皮塞塞紧,垂直放置于阴凉处4 h内带回实验室。另一根按2 cm分层,一直分到深度40 cm处,样品用无菌封口袋分装,并带回实验室冻干,过100目筛,用于磷形态分析。取0~10 cm深度的沉积物模拟未疏浚的情况,用30~40 cm深度的沉积物模拟疏浚的情况。本模拟疏浚试验虽然不能完全符合真实疏浚的情况,但这并不妨碍对疏浚前后营养元素的总体行为进行探讨。

2.2 样品分析

水样磷形态采用文献[9]中的方法进行测量分析,Eh、pH采用美国哈希公司生产的HACH-sension 156便携式多参数测定仪进行测量。沉积物干样磷形态分析采用Ruban等[10]在欧洲标准测试委员会框架下发展的SMT分离方法,该程序操作上含有3个独立的提取步骤,包括5种形态的磷:总磷(TP)、无机磷(IP)、有机磷(OP)、铁/铝磷(NAIP)和

钙磷(AP)。具体流程如图1所示。

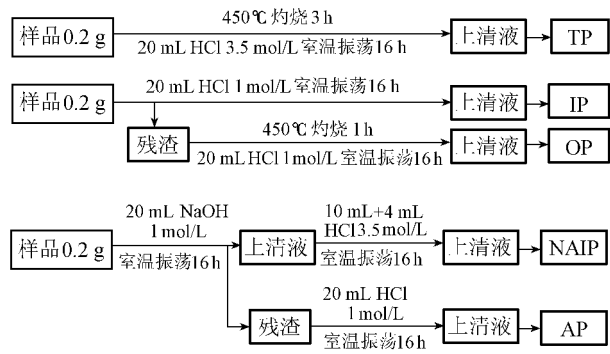


图1 沉积物磷形态连续提取流程

3 实验及分析

3.1 沉积物磷形态变化规律

用SMT连续提取法测定沉积物中各种磷形态,疏浚和未疏浚情况下沉积物中磷形态质量比的垂向变化规律比较结果见图2。

分析图2可知,大纵湖底泥的TP质量比较高,由于水生生物的生长吸收磷,使得活性磷减少;活性点位”相对增多,从而导致底泥对磷的吸附能力增强[11],所以表层0~5 cm,TP的最大吸附量最大,5~10 cm深度,TP质量比突然减小并且基本稳定在一定水平。OP与TP的垂向变化规律很相似,而IP约占TP的66%左右,且比例较稳定。NAIP是与Fe、Mn、Al氧化物及其氢氧化物结合的磷和松散结合态磷,为生物易利用的活性磷成分,基本可以反映内源磷的潜在释放量[12]。从图2(e)可见,底泥中NAIP

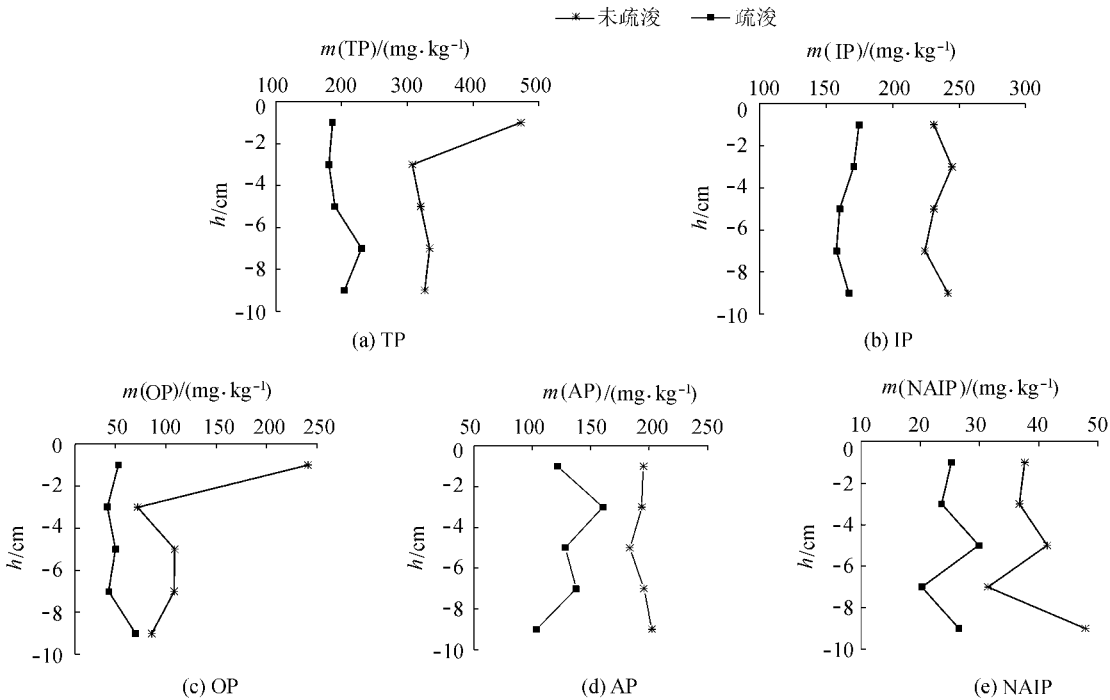


图2 沉积物中磷形态质量比垂向变化规律

质量比较低,这主要是由于大纵湖水生植物丰富,水生植物的生长吸收了底泥中的 NAIP,从而使其质量比较低。而 AP 为钙结合态磷,是磷形态中较惰性的成分,难以被生物利用。根据尹起范等^[13]的观点,在人为磷输入量较高的湖区,AP 的质量比应该较高。图 2(d)所示 AP 占 IP 的比例很大,主要是因为大纵湖大部分水域均为水产养殖区,人为输入的磷量很高。

再比较疏浚和未疏浚的沉积物中各种磷形态可以看出,疏浚沉积物中各种形态磷的质量比均远远低于未疏浚沉积物。疏浚前底泥中的 NAIP 最大质量比为 47.8 mg/kg,疏浚后底泥中的 NAIP 最大质量比为 29.9 mg/kg,疏浚后比疏浚前质量比平均降低 37.4%,疏浚后内源磷的潜在释放量大大降低。疏浚后比疏浚前 TP 最大质量比降低 52%,IP 最大质量比降低 28.6%,OP 最大质量比降低 71%。综上所述可知,疏浚 30 cm 可能会大大削减沉积物中各种形态磷的质量比,降低其内源释放风险。

3.2 上覆水体 Eh、pH 随时间的变化规律

沉积物模拟土柱带回实验室后,缓慢注入采样点采集的水,静态培养 168 h,分别测量上覆水体在 0、3、6、9、12、24、48、72、96、120、144、168 h 的 pH、Eh 以及水体中 TP、可溶性正磷酸盐(SRP)、可溶性总磷酸盐(DTP)3 种磷形态的值,分析其随时间的变化规律。

上覆水体 Eh、pH 随时间的变化规律如图 3 所示。由图 3 可知,未疏浚和疏浚 30 cm 的上覆水体 Eh、pH 变化规律基本一致:在前 96 h 内总体呈下降趋势,而在 96~168 h 逐渐上升。整个培养期内,Eh 从 120 mV 左右变成 60 mV 左右,均处于较低水平(<200 mV),pH 值在培养过程中均呈碱性或弱碱性,这为沉积物磷向上覆水体释放创造了有利条件^[14]。再比较经过 168 h 接触释放后未疏浚沉积物与疏浚沉积物的 Eh、pH,发现二者差异不显著,说明疏浚 30 cm 对湖泊上覆水体的 Eh、pH 影响不明显。

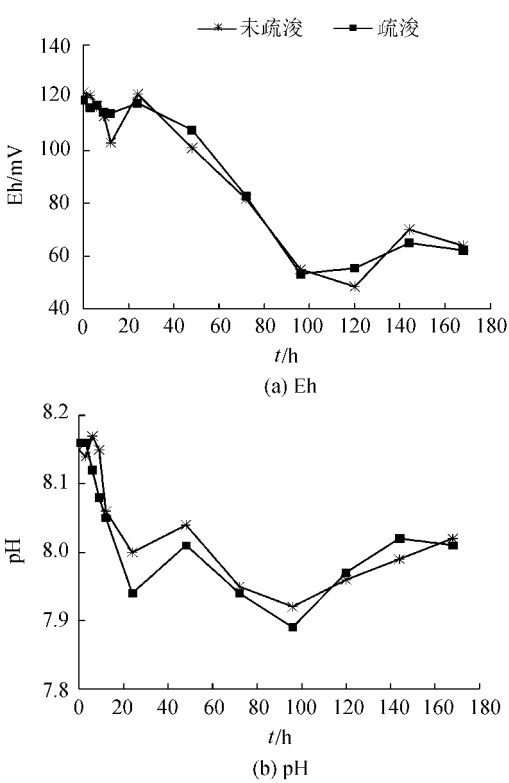


图 3 上覆水体 Eh、pH 随时间变化规律

3.3 上覆水体磷形态随时间的变化规律

实验测得上覆水体 TP、DTP 和 SRP 3 种形态磷的质量浓度随时间的变化规律见图 4,释放速率随时间的变化规律见图 5。

张路等^[15]通过扰动实验发现,磷的吸附作用在扰动后 30 min 内基本达到平衡。因此,根据其观点,笔者实验所观察到的是系统平衡期过后磷在沉积物—水界面的释放现象,足以反映疏浚对磷行为的短期效应。由图 4 可见,培养初期,未疏浚的 TP 质量浓度变化很不稳定,0~6 h 内逐渐减小,6~9 h 内突然增大并在 9 h 达到最大值 1.54 mg/L,随后又在 9~12 h 内急剧下降并保持较稳定的变化趋势。DTP 质量浓度在培养 3 h 时达到最大值 0.12 mg/L,随后呈现波浪式变化趋势,144 h 时达到最小值 0.02 mg/L。SRP 质量浓度在 6 h 达到最大值 0.07 mg/L,随后逐

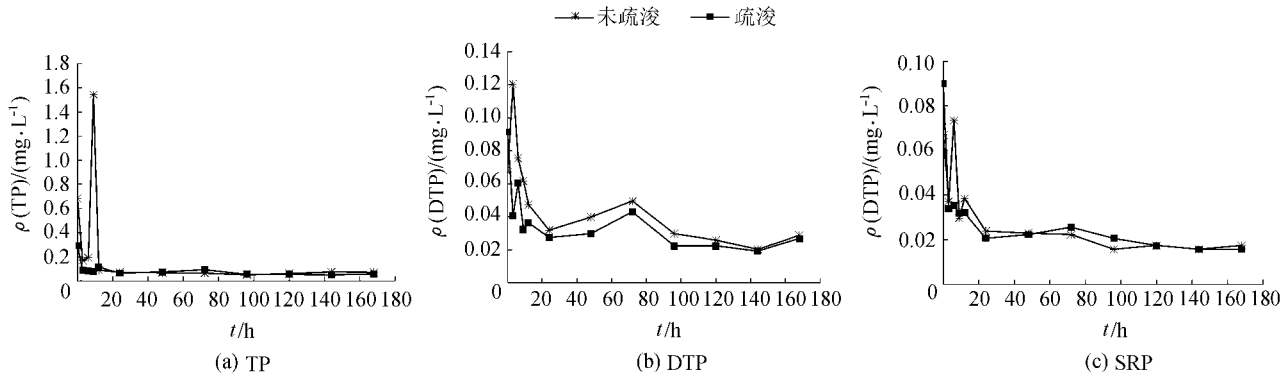


图 4 上覆水体 TP、DTP、SRP 质量浓度时间变化规律

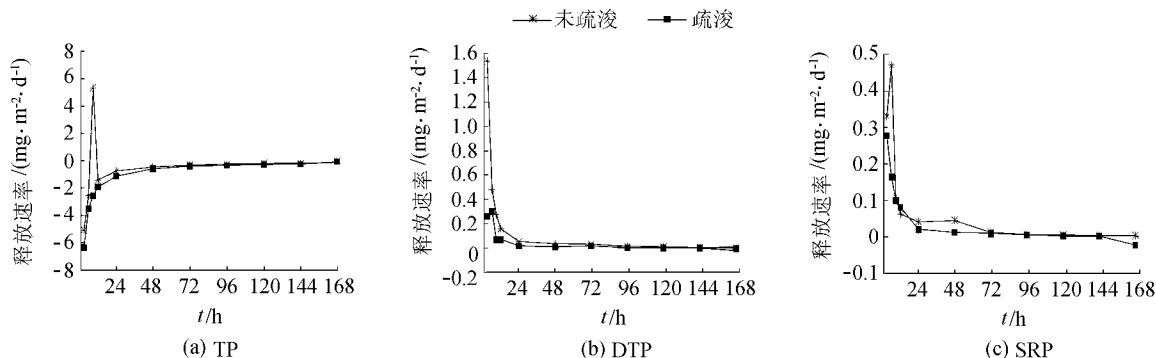


图5 TP、DTP、SRP 释放速率时间变化规律

渐递减,144 h 时达到最小值 0.016 mg/L。疏浚后,TP 质量浓度低于未疏浚时的水平,并且显示出随培养时间逐渐降低的较稳定的变化趋势,在 144 h 时达到最小,144~168 h 内稍有回升;DTP 质量浓度在整个培养期内均低于未疏浚时的水平,且其变化趋势与未疏浚情况下 DTP 的变化趋势很相似,这主要是因为沉积物原来处于低 E_h 的还原环境中,疏浚 30 cm 后产生的沉积物疏浚新生层直接与含氧较多的上覆水接触, E_h 突然升高,底泥对磷的吸附作用增强,从而导致疏浚沉积物向上覆水体释放 DTP 的能力低于未疏浚沉积物向上覆水体释放 DTP 的能力,SRP 在培养初期质量浓度很高,甚至远远高于未疏浚时的同期水平,但随着培养时间的增长,其质量浓度逐渐减少至 168 h 达到最低值。总体看来,上覆水中的 DTP 和 SRP 的变化趋势较为相似,这与金相灿等^[16]对太湖沉积物中磷的释放研究的结果相一致。

从 3 种形态磷释放速率随时间变化规律(图 5)可见,实验培养过程中,疏浚沉积物和未疏浚沉积物对 TP 呈吸附状态,对 DTP、SRP 呈释放或弱吸附状态,且疏浚沉积物 DTP、SRP 释放速率总体上均低于未疏浚沉积物 DTP、SRP 释放速率。培养初期,疏浚沉积物 TP、DTP、SRP 释放速率显著均低于未疏浚沉积物 TP、DTP、SRP 释放速率,但随着培养时间的增长,两者逐渐接近,到 168 h 时,疏浚沉积物与未疏浚沉积物对 TP 的吸附速率基本相同,而对于 DTP 和 SRP,疏浚沉积物呈吸附状态,未疏浚沉积物呈轻微释放状态。

上覆水体中的磷形态之所以呈现这样的变化规律,主要是因为刚开始培养时,扰动比较大,使底泥中的溶解态磷发生明显释放^[17],随着体系磷的吸附释放过程的进行,某些磷可能再次被吸附在沉积物表面,使上覆水体的磷质量比降低。另外,结合 E_h 、pH 的变化规律可知,培养初期水体碱性较强,而在碱性条件下,水中的 OH^- 与沉积物中 Fe^{3+} 、 Al^{3+} 结合成为稳定的氢氧化物,由于离子交换作用,与

Fe^{3+} 、 Al^{3+} 结合的磷(NAIP)被重新释放到水中^[18]。由于 E_h 在整个培养期内均处于较低水平,这有利于 Fe^{3+} 还原成 Fe^{2+} ,易使不溶的 $Fe(OH)_3$ 转化成可溶的 $Fe(OH)_2$,有助于 Fe 及被其吸附的磷酸盐转变成溶解态而析出,从而增加沉积物磷的释放量^[14]。

经过 168 h 的接触释放后,疏浚和未疏浚底泥的上覆水体 TP、DTP、SRP 质量浓度均远远低于初始值,说明底泥对磷的吸附效果明显。然而,经过 168 h 接触释放后,未疏浚底泥上覆水的 TP、DTP、SRP 质量浓度分别为 0.0709 mg/L、0.0286 mg/L、0.0173 mg/L,疏浚底泥上覆水的 TP、DTP、SRP 质量浓度分别为 0.0577 mg/L、0.0267 mg/L、0.0156 mg/L,可见疏浚底泥上覆水的 TP、DTP、SRP 质量浓度与未疏浚的没有显著差异。未疏浚沉积物和疏浚沉积物对 TP、DTP、SRP 的释放速率差异不明显。因此,从短期效果来看,疏浚并未显著减少上覆水体 TP、DTP、SRP 的质量浓度,并未有效控制沉积物向上覆水体释放 TP、DTP、SRP。

4 结 论

a. 接触释放 168 h 后,疏浚底泥的上覆水体 E_h 、pH 与未疏浚底泥的 E_h 、pH 差异不明显。从短期效应来看,疏浚对大纵湖上覆水体 E_h 、pH 的改善效果不显著。

b. 接触释放 168 h 后,疏浚与未疏浚底泥的上覆水体 TP、DTP、SRP 特征值差异不显著。从短期效应来看,疏浚对大纵湖上覆水体 TP、DTP、SRP 特征值的控制效果不明显。

c. 培养 168 h 后,疏浚 30 cm 的底泥中各种形态磷质量比显著低于未疏浚底泥,可见疏浚 30 cm 大大削减了沉积物中的各种磷形态的质量比。但是短期室内模拟结果显示,疏浚对上覆水磷的影响并不显著,说明对于短期效应,沉积物磷形态并不是影响沉积物释磷的主要因素。

d. 疏浚的短期效应只能反映疏浚后一段时间内的效果,而疏浚作为一种治理水体富营养化的手

段 ,其长期效应需进一步的研究。

参考文献：

[1] 濮培民 ,王国祥 ,胡维平 ,等 . 底泥疏浚能控制湖泊富营养化吗 ?[J]. 湖泊科学 ,2000 ,13(3) :269-279.

[2] 钟继承 ,范成新 . 底泥疏浚效果与环境效应研究进展 [J]. 湖泊科学 ,2007 ,19(1) :1-10.

[3] 周扬屏 . 南湖疏浚后底泥氮、磷释放规律研究 [D]. 南京 : 河海大学 ,2005.

[4] 王俊 . 底泥对河流水质影响的数学模型研究进展 [J]. 水资源保护 ,2009 ,25(S1) :55-60.

[5] 曹卉 ,曹铮 ,张选岐 ,等 . 东钱湖污染底泥疏挖吹填特性 [J]. 水利水电科技进展 ,2008 ,28(S1) :162-163.

[6] 董浩平 ,姚琪 . 水体沉积物磷释放及控制 [J]. 水资源保护 ,2006 ,22(4) :20-23.

[7] SCHINDLER D W. Evolution of phosphorus limitation in lakes [J]. Science ,1977 ,195 :260-262.

[8] 彭杜 ,刘凌 ,胡进宝 . 玄武湖沉积物磷形态的垂向变化和生物有效性 [J]. 水资源保护 ,2009 ,25(1) :31-35.

[9] 魏复盛 ,寇洪茹 ,洪水皆 . 水和废水监测分析方法 [M]. 4 版 . 北京 :中国环境科学出版社 ,2002.

[10] RUBAN V ,LOPEZS ,PARDO P ,et al. Harmonized protocol and certified reference material for the determination of

extractable contents of phosphorus in freshwater sediments :a synthesis of recent work[J]. Fresenius ' Journal of Analytical Chemistry ,2001 ,370(2/3) :224-228.

[11] 高丽 ,杨浩 ,周健民 . 湖泊沉积物中磷释放的研究进展 [J]. 土壤(Soils) ,2004 ,36(1) :12-15.

[12] 金相灿 ,王圣瑞 ,庞燕 . 太湖沉积物磷形态及 pH 值对磷释放的影响 [J]. 中国环境科学 ,2004 ,24(6) :707-711.

[13] 尹起范 ,孙建 ,金都 ,等 . 洪泽湖沉降物中磷的形态分布及其对水体的影响 [J]. 安徽农业科学 ,2009 ,37(12) :5631-5633.

[14] 王爱萍 ,杨守业 ,周琪 . 长江口崇明东滩湿地沉积物对磷的吸附特征 [J]. 生态学报 ,2006 ,25(8) :926-930.

[15] 张路 ,范成新 ,秦伯强 ,等 . 模拟扰动条件下太湖表层沉积物磷行为的研究 [J]. 湖泊科学 ,2001 ,13(1) :35-42.

[16] 金相灿 ,姜霞 ,王琦 ,等 . 太湖梅梁湾沉积物中磷吸附/解吸平衡特征的季节性变化 [J]. 环境科学学报 ,2008 ,28(1) :24-29.

[17] 李大鹏 ,黄勇 ,李伟光 . 底泥扰动对上覆水中磷形态分布的影响 [J]. 环境科学学报 ,2009 ,29(2) :279-284.

[18] 郭志勇 ,李晓晨 ,王超 ,等 . pH 值对玄武湖沉积物中磷的释放及形态分布的影响 [J]. 农业环境科学学报 ,2007 ,26(3) :873-877.

(收稿日期 :2011-01-20 编辑 :徐 娟)

(上接第 10 页)

致谢 :松辽水利委员会韩俊山总工程师及松辽流域水资源保护局李青山总工程师对本课题给予了大力支持 ,在此表示感谢 !

参考文献：

[1] 王起超 ,邵志国 ,张磊 . 20 年来第二松花江汞污染自净规律研究 [J]. 环境科学学报 ,2007 ,27(3) :474-479.

[2] 苏伟 ,刘景双 ,李方 . 第二松花江干流重金属污染物健康风险评价 [J]. 农业环境科学学报 ,2006 ,25(6) :1611-1615.

[3] 刘景双 ,于君宝 ,闫百兴 ,等 . 第二松花江水体中氮含量的动态变化分析 [J]. 环境科学 ,1997 ,18(1) :14-16.

[4] 徐祖信 ,尹海龙 . 平原感潮河网地区一维、二维水动力耦合模型研究 [J]. 水动力学研究与进展 ,2004 ,19(6) :744-751.

[5] 赵南霞 ,王鹏 ,郑彤 ,等 . 松花江有机毒物环境归宿模型及程序设计 [J]. 哈尔滨工业大学学报 ,2001 ,33(4) :479-481.

[6] 余江 ,许刚 ,康建雄 . 河流一维水质预测模型在污染贡献值计算中的应用 [J]. 环境科学与技术 ,2006 ,29(S1) :32-34.

[7] 中华人民共和国环境保护部 ,国家发展改革委员会 . 松花江流域水污染防治规划 (2006—2010 年) [R]. 北京 :中华人民共和国环境保护部 ,国家发展改革委员会 ,2006.

[8] 汪德 . 计算水动力学 [M]. 南京 :河海大学出版社 ,1989.

[9] 杨国录 . 河流数学模型 [M]. 北京 :海洋出版社 ,1993 :76-89.

[10] 李光炽 ,王船海 . 流域洪水演进模型通用算法研究 [J]. 河海大学学报 :自然科学版 ,2005 ,33(6) :624-628.

[11] WU W M ,VIEIRA D A ,WANG S S Y. One-dimensional numerical model for nonuniform sediment transport under unsteady flows in channel networks [J]. Journal of Hydraulic Engineering ,2004 ,130(9) :914-923.

[12] 褚君达 . 河网对流输移问题的求解及应用 [J]. 水利学报 ,1992 ,23(7) :30-34.

[13] 郑孝宇 ,褚君达 ,朱维斌 . 河网非稳态水环境容量研究 [J]. 水科学进展 ,1997 ,8(1) :25-31.

[14] 薛亚莉 . 城市河流水量水质自适应控制模型研究 [D]. 南京 :河海大学 ,2006.

[15] 张明亮 . 河流水力及水质模型研究 [D]. 大连 :大连理工大学 ,2007.

(收稿日期 :2010-05-18 编辑 :高建群)