

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第34卷 第1期

Vol.34 No.1

2013

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

长三角背景地区秋冬季节大气气态总汞含量特征研究	窦红颖,王书肖,王龙,张磊,郝吉明 (1)
厦门城区大气颗粒物 PM ₁₀ 中有机酸源谱特征分析	杨冰玉,黄星星,郑桢,刘碧莲,吴水平 (8)
兴隆大气气溶胶中水溶性无机离子分析	李杏茹,宋爱利,王英锋,孙颖,刘子锐,王跃思 (15)
气相组分对氨吸收同步脱除模拟烟气 SO ₂ 和 NO _x 的影响	王鸿,朱天乐,王美艳 (21)
麦秸全量还田下太湖地区两种典型水稻土稻季氨挥发特性比较	汪军,王德建,张刚,王远 (27)
单光子/光电子在线质谱实时分析聚氯乙烯热分解/燃烧产物	陈文东,侯可勇,陈平,李芳龙,赵无垠,崔华鹏,花磊,谢园园,李海洋 (34)
碱性活性炭表面特征及其吸附甲烷的研究	张梦竹,李琳,刘俊新,孙永军,李国滨 (39)
夏季黄渤海表层海水中二甲亚砜 (DMSO) 的浓度分布	王敏,张洪海,杨桂朋 (45)
2010年秋季长江口口外海域 CDOM 的三维荧光光谱-平行因子分析	闫丽红,陈学君,苏荣国,韩秀荣,张传松,石晓勇 (51)
基于集合均方根滤波的太湖叶绿素 a 浓度估算与预测	李渊,李云梅,王桥,张卓,郭飞,吕恒,毕坤,黄昌春,郭宇龙 (61)
基于 HJ1A-CCD 数据的高光谱影像重构研究	郭宇龙,李云梅,朱利,徐德强,李渊,檀静,周莉,刘阁 (69)
重庆雪玉洞岩溶地下河地球化学敏感性研究	徐尚全,杨平恒,殷建军,毛海红,王鹏,周小萍 (77)
区域点源和非点源磷入河量计算的二元统计模型	陈丁江,孙嗣畅,贾颖娜,陈佳勃,吕军 (84)
秦淮河典型河段总氮总磷时空变异特征	李跃飞,夏永秋,李晓波,熊正琴,颜晓元 (91)
湘江沉积物铜和汞质量基准的建立及其应用	蒋博峰,桑磊鑫,孙卫玲,郝伟,李丽,邓宝山 (98)
丹江口水库迁建区土壤重金属分布及污染评价	张雷,秦延文,郑丙辉,时瑶,韩超男 (108)
汾河水库周边土壤重金属含量与空间分布	李晋昌,张红,石伟 (116)
黄河下游引黄灌区地下水重金属分布及健康风险评估	张妍,李发东,欧阳竹,赵广帅,李静,柳强 (121)
胶州湾、套子湾及四十里湾表层沉积物中有机氯农药的含量和分布特征	刘艺凯,钟广财,唐建辉,潘晓辉,田崇国,陈颖军 (129)
基于干扰梯度的钦江流域底栖动物完整性指数候选参数筛选	卢东琪,张勇,蔡德所,刘朔孺,陈燕海,王备新 (137)
海洋细菌 <i>Marinobacter adhaerens</i> HY-3 分离鉴定及对中肋骨条藻的化感作用	王洪斌,陈文慧,李信书,李士虎,阎斌伦 (145)
水稻秸秆浸泡液对铜绿微囊藻生理特性的影响	苏文,孔繁翔,于洋,贾育红,张民 (150)
化感物质肉桂酸乙酯对蛋白核小球藻生长及生理特性的影响	高李李,郭沛涌,苏光明,魏燕芳 (156)
无负压供水模式下管网水力模拟与安全评价分析	王欢欢,刘书明,姜帅,孟凡琳,白璐 (163)
天然有机物的相对分子质量分布及亲疏水性对微滤膜组合工艺中膜污染的影响	胡孟柳,林洁,许光红,董秉直 (169)
不同基质条件下透性处理对脱硫弧菌硫酸盐还原活性的影响	徐慧伟,张旭,李立明,郑光洁,李广贺 (177)
基于零价铁的双金属体系对六氯苯还原脱氯研究	曾宪委,刘建国,聂小琴 (182)
负载型 TiO ₂ 光电催化降解孔雀石绿的动力学研究	张小娜,周少奇,周晓 (188)
污水厂微曝气系统工况下充氧性能测试与分析	吴媛媛,周小红,施汉昌,邱勇 (194)
微气泡及其产生方式对活性污泥混合液性质的影响	刘春,马锦,张磊,张静,张明,吴根 (198)
不同氮浓度冲击对颗粒污泥脱氮过程中 N ₂ O 产生量的影响	韩雪,高大文 (204)
模拟电镀污泥重金属浸出液对氧化亚铁硫杆菌活性的影响	谢鑫源,孙培德,楼菊青,郭茂新,马王钢 (209)
嗜麦芽窄食单胞菌对铜的吸附特性与离子交换	白洁琼,尹华,叶锦韶,彭辉,唐立楠,何宝燕,李跃鹏 (217)
阴离子表面活性剂改性水滑石吸附硝基苯的特性研究	夏燕,朱润良,陶奇,刘汉阳 (226)
活性氧化铝对水中磷的去除与回收研究	孟文娜,谢杰,吴德意,张振家,孔海南 (231)
北京城区可吸入颗粒物分布与呼吸系统疾病相关分析	杨维,赵文吉,官兆宁,赵文慧,唐涛 (237)
北京市市售鸡蛋和鸭蛋中全氟化合物的污染水平研究	齐彦杰,周珍,史亚利,孟昭福 (244)
北京市场常见淡水食用鱼体内农药残留水平调查及健康风险评估	于志勇,金芬,孙景芳,原盛广,郑蓓,张文婧,安伟,杨敏 (251)
多效应残差法 (MERA) 表征二甲亚砜-农药二元混合物毒性相互作用	霍向晨,刘树深,张晶,张瑾 (257)
利用 DGGE-菌落原位杂交法分离土壤中精喹禾灵降解菌	吕欣,彭霞薇,呼庆,马安周,江泽平,魏远 (263)
不同白腐真菌复配方式对产酶的影响	孟瑶,梁红,高大文 (271)
不同施肥措施对土壤活性有机碳的影响	张瑞,张贵龙,姬艳艳,李刚,常泓,杨殿林 (277)
垦殖对湿地土壤有机碳垂直分布及可溶性有机碳截留的影响	霍莉莉,邹元春,郭佳伟,吕宪国 (283)
黄河三角洲碱蓬湿地土壤有机碳及其组分分布特征	董洪芳,于君宝,管博 (288)
丘陵林地土壤酸化改良剂的集中施用-自然扩散修复技术研究	方熊,刘菊秀,尹光彩,赵亮,刘世忠,褚国伟,李义勇 (293)
重度滴滴涕污染土壤低温等离子体修复条件优化研究	陈海红,骆永明,滕应,刘五星,潘澄,李振峰,贾玉娟 (302)
无定形 Fe(OH) ₃ 和 Fe ₃ O ₄ 共沉淀态 As 的化学提取	陈义萍,王少峰,黄永锋 (308)
铝和锰对外生菌根真菌生长、养分吸收及分泌作用的影响	李华,黄建国,袁玲 (315)
污泥和餐厨垃圾联合干法中温厌氧消化性能研究	段妮娜,董滨,李江华,戴翎翎,戴晓虎 (321)
高比表面生物质炭的制备、表征及吸附性能	李坤权,李焯,郑正,桑大志 (328)
基于情景分析的浙江沿海地区环境污染防治战略研究	田金平,陈吕军,杜鹏飞,钱易 (336)
微生物全细胞传感器在重金属生物可利用度监测中的研究进展	侯启会,马安周,庄绪亮,庄国强 (347)
2012 城市生态学术研讨会会议论文	
北京市城乡环境梯度下街尘中重金属污染特征	何小艳,顾培,李叙勇,赵洪涛 (357)
北京市道路灰尘中污染物含量沿城乡梯度、道路密度梯度的变化特征	唐荣莉,马克明,张育新,毛齐正 (364)
北京城市典型下垫面降雨径流污染初始冲刷效应分析	任玉芬,王效科,欧阳志云,侯培强 (373)
洋河流域张家口段河流水质演化及驱动因子分析	虎博,王铁宇,吕永龙,杜立宇,罗维 (379)
低碳交通电动汽车减排潜力及其影响因素分析	施晓清,李笑诺,杨建新 (385)
北京市社区生活垃圾分类收集实效调查及其长效管理机制研究	邓俊,徐琬莹,周传斌 (395)
人工湿地在应用中存在的问题及解决措施	黄锦楼,陈琴,许连煌 (401)
《环境科学》征订启事 (26)	《环境科学》征稿简则 (68)
信息 (76,144,301,400)	专辑征稿通知 (394)

基于集合均方根滤波的太湖叶绿素 a 浓度估算与预测

李渊¹, 李云梅^{1*}, 王桥¹, 张卓¹, 郭飞¹, 吕恒¹, 毕坤², 黄昌春¹, 郭宇龙¹

(1. 南京师范大学虚拟地理环境教育部重点实验室, 南京 210046; 2. 中国人民解放军 94608 部队, 南京 210022)

摘要: 叶绿素 a 浓度作为表征水质状况的重要参数之一, 反映了水体富营养化程度和藻类含量, 是决定水体的反射光谱特征的重要因素, 也是水质遥感领域研究较多的一项水质参数。研究叶绿素 a 浓度的遥感定量反演可以为湖泊水质监测与评价提供新的思路和方法。本研究发展了一个基于集合均方根滤波和风生流的污染物扩散模型的数据同化方案, 并结合 2010 年 5 月 20 日的太湖 3 个浮标观测站点的观测数据进行了同化实验。首先对太湖叶绿素 a 浓度进行同化估算, 然后利用优化后的估算结果对太湖叶绿素 a 浓度进行了为期 6 h 的预报。在同化阶段, 均方根误差分别从 1.58、1.025、2.76 降低到了 0.465、0.276、1.01, 平均相对误差也从 0.2 降低到了 0.05、0.046、0.069。在预报阶段, 均方根误差从 1.486、1.143、2.38 降低到了 0.017、0.147、0.23, 平均相对误差也从 0.2 降低到了 0.002、0.025、0.019。结果表明, 利用集合均方根滤波的数据同化方法可以有效地提高太湖叶绿素 a 浓度的估算与预报精度。

关键词: 集合均方根滤波; 叶绿素 a; 卡尔曼滤波; 数据同化; 太湖

中图分类号: X87 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2013)01-0061-08

Estimation and Forecast of Chlorophyll a Concentration in Taihu Lake Based on Ensemble Square Root Filters

LI Yuan¹, LI Yun-mei¹, WANG Qiao¹, ZHANG Zhuo¹, GUO Fei¹, LÜ Heng¹, BI Kun², HUANG Chang-chun¹, GUO Yu-long¹

(1. Key Laboratory of Virtual Geographic Environment, Ministry of Education, Nanjing Normal University, Nanjing 210046, China; 2. Unit No. 94608 Unit of People's Liberation Army, Nanjing 210022, China)

Abstract: Chlorophyll a concentration is one of the important parameters for the characterization of water quality, which reflects the degree of eutrophication and algae content in the water body. It is also an important factor in determining water spectral reflectance. Chlorophyll a concentration is an important water quality parameter in water quality remote sensing. Remote sensing quantitative retrieval of chlorophyll a concentration can provide new ideas and methods for the monitoring and evaluation of lake water quality. In this work, we developed a data assimilation scheme based on ensemble square root filters and three-dimensional numerical modeling for wind-driven circulation and pollutant transport to assimilate the concentration of chlorophyll a. We also conducted some assimilation experiments using buoy observation data on May 20, 2010. We estimated the concentration of chlorophyll a in Taihu Lake, and then used this result to forecast the concentration of chlorophyll a. During the assimilation stage, the root mean square error reduced from 1.58, 1.025, and 2.76 to 0.465, 0.276, and 1.01, respectively, and the average relative error reduced from 0.2 to 0.05, 0.046, and 0.069, respectively. During the prediction stage, the root mean square error reduced from 1.486, 1.143, and 2.38 to 0.017, 0.147, and 0.23, respectively, and the average relative error reduced from 0.2 to 0.002, 0.025, and 0.019, respectively. The final results indicate that the method of data assimilation can significantly improve the accuracy in the estimation and prediction of chlorophyll a concentration in Taihu Lake.

Key words: ensemble square root filters; chlorophyll a; Kalman filter; data assimilation; Taihu Lake

顺应水环境监测和管理的需求, 目前, 江苏省环境监测中心、南京师范大学、中国科学院南京地理与湖泊研究所等多家单位, 已经在太湖布设了 20 余个浮标监测系统, 其上承载的水质参数监测仪, 可以对水质参数进行实时在线监测。通过数据传输, 将数据回传到用户的控制中心, 达到实时获取监测数据的目的。利用该类系统进行长期监测, 可以积累长期连续观测的数据, 对水环境遥感研究、水资源管理, 都具有重要意义。但是通过浮标监测获取的数据信息, 仅能代表观测区域小范围内的水质状况,

无法反映湖泊整体的情况。结合水动力模型, 模拟水体组分的扩散和输移, 则为将离散样点的观测值推算到整个研究区域及未来时刻提供了新的思路和方法。

数据同化技术通过不断地优化参数, 将观测数

收稿日期: 2012-03-04; 修订日期: 2012-05-03

基金项目: 江苏省教育厅高校自然科学研究重大项目(11KJA170003); 江苏省 2012 年度普通高校研究生科研创新计划项目(CXZZ12-0397)

作者简介: 李渊(1985~), 男, 博士研究生, 主要研究方向为数据同化、定量遥感, E-mail: liyuannjnu@163.com
* 通讯联系人, E-mail: liyunmei@njnu.edu.cn

据和数值模拟相结合,并调整模型运行轨迹,最后得到更加客观的接近自然的分析结果. 该技术已成功应用于气象、海洋、土壤、生态等监测和预报中^[1~8]. Smith^[9]介绍了全球海洋模式数据同化方案以及相关利用数据同化方法得到的产品. 张生雷等^[10]介绍了利用集合 Kalman 滤波在土壤湿度同化中的应用,以及集合 Kalman 滤波同扩展 Kalman 滤波的比较. 同化结果表明同化方案能完整估计土壤湿度廓线,同化的土壤湿度与观测资料基本吻合. 将数据同化技术与水动力模型结合,能够估算太湖全湖水水质参数分布状况,对水质评价及富营养化具有重要意义.

随着同化方法的不断发展和科学工作者的不断探索,目前以最优控制理论为基础的四维变分数据同化方法与以统计估计理论和集合论为基础的基于集合的数据同化方法逐渐占据了主导地位. 卡尔曼滤波方法和扩展卡尔曼滤波方法是贝叶斯同化的一个很好的近似,但是它们对计算的要求很高,计算代价昂贵,不能应用在强非线性和误差非正态分布的系统中,需要建立数值模式的切线性模式和伴随模式,代

码结构更加庞大,开发很困难. 基于集合的数据同化方法不需要建立预报模式的切线性模式和伴随模式,不必在时间上向后积分,代码的编写相对容易. 相对于卡尔曼滤波方法来说,基于集合的数据同化方法弥补了卡尔曼方法不能应用在强非线性系统中的缺陷,克服了卡尔曼方法计算预报误差协方差困难的弱点,渐渐地在数据同化的领域中扮演主要的角色^[11].

本研究以叶绿素浓度为监测指标,构建集合均方根滤波器,融合浮标实测数据和叶绿素扩散模型的数据同化方法,以期在叶绿素浓度场的模拟过程中,融入浮标观测的叶绿素浓度值,达到校正模型、降低误差积累,实时进行整个湖区叶绿素浓度估算的目的.

1 材料与方法

1.1 研究区及样点分布

以太湖为实验区,2010 年 5 月 20 日在太湖布设 32 个样点(图 1),对叶绿素 a 浓度进行了观测,此外,还获取了太湖的 3 个浮标观测站(图 1)2010 年 5 月 20 日 10:00~21:00 的叶绿素 a 浓度值.

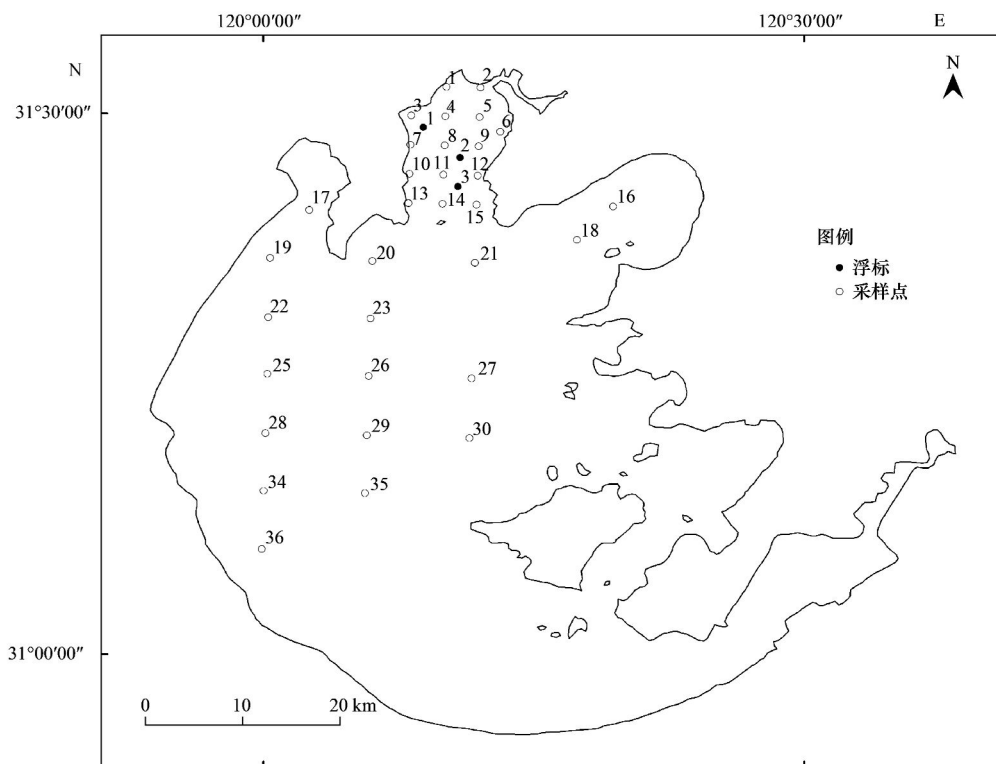


图 1 太湖采样点位与浮标观测点位示意

Fig. 1 Distribution of sampling sites and buoy sites in Taihu Lake

1.2 参数的测定

叶绿素浓度的测量采用常规的化学分析方法,

用 0.45 μm 的 GF/F 滤膜过滤,90% 的热乙醇提取,然后利用分光光度计检测,叶绿素浓度获取的详细

步骤见文献[12].

1.3 基于风生流的叶绿素 a 扩散模型

假设湖水为均匀不可压的流体,垂直方向服从静水压力分布,采用笛卡尔左手直角坐标系, x 轴和 y 轴位于湖水的平均水平面上, x 轴向东为正, y 轴向北为正, z 轴向上为正. 流体动力学方程为:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = fv - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + A_h \left[\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right] + A_z \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \quad (1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -fu - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + A_h \left[\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right] + A_z \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \quad (2)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (3)$$

$$p = \rho_w g (\eta + z) \quad (4)$$

将连续方程垂向积分可得到自由面方程:

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left[\int_{-h}^{\eta} u dz \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\int_{-h}^{\eta} v dz \right] = 0 \quad (5)$$

式中, u 、 v 、 w 分别为 x 、 y 、 z 轴上的流速分量; η 为垂直方向上湖面相对于平均水面的高度; ρ_w 是水体密度; A_z 和 A_h 分别是垂直和水平的涡粘系数; f 为柯氏力, $f=7.23 \times 10^{-5}$; g 为重力加速度; p 为水的压强.

叶绿素 a 浓度的控制方程为:

$$\frac{\partial c}{\partial t} + \frac{\partial uc}{\partial x} + \frac{\partial vc}{\partial y} + \frac{\partial wc}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left(v_c \frac{\partial c}{\partial z} \right) + F_c + S \quad (6)$$

式中, c 是叶绿素 a 浓度,单位 $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$. 该模型的数值解法可以参考文献[13,14],该模型可以有效的估算和预测叶绿素 a 浓度.

1.4 叶绿素数据同化模型构建

1.4.1 数据同化方案

本次数据同化实验主要由数据同化算法、叶绿素扩散模拟模型、数据(参数、观测数据、输出数据)等构成(图2).

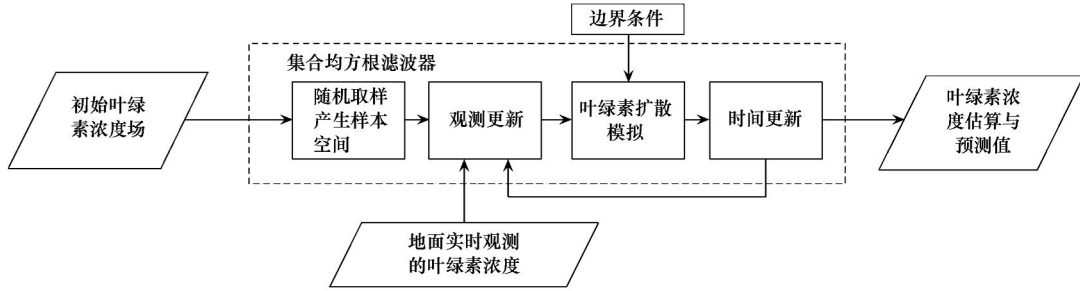


图2 叶绿素 a 同化实验框架

Fig. 2 Framework of chlorophyll a assimilation experiment

1.4.2 卡尔曼滤波

1960年,Kalman^[15]针对随机过程状态估计提出 Kalman 滤波的思想,它包括分析和预报两个步骤. 在分析阶段,引入观测数据,利用最小方差估计的方法对模式状态进行最优分析. 在预报阶段,根据前一时刻模式状态的最优分析值进行预报,产生得到更加客观的接近自然的预测结果. 随着模式状态预报的继续进行和新的观测数据的不断输入,整个同化过程不断向前积分. 在卡尔曼滤波算法中,需要事先给定线性观测算子 H 、初始条件 x_0^f 、背景场误差协方差矩阵 B_0 ,事先估计出模式误差的协方差 Q_n 和观测误差的协方差 R_n .

卡尔曼滤波的算法如下^[16].

(1) 设定初始时刻 t_0 的状态向量 x_0^f 和背景场误差协方差矩阵 B_0 .

(2) 分析部分,又称为观测更新. 这是指在某一给定时刻引进新的观测值以后状态向量及其不可靠

性的改变:

$$K_n = B_n H_n^T (H_n B_n H_n^T + R_n)^{-1} \quad (7)$$

$$x_n^a = x_n^f + K_n (y_n^o - H_n x_n^f) \quad (8)$$

$$A_n = (I - K_n H_n) B_n \quad (9)$$

式中, K_n 为卡尔曼增益矩阵, H 为线性观测算子, y_n^o 为第 n 时刻的观测值, x_n^a 为第 n 时刻的分析值, x_n^f 为第 n 时刻的预报值, A_n 为第 n 时刻的分析误差协方差矩阵, I 为单位矩阵. 上标 a 、 f 、 T 分别表示分析场、预报场和矩阵转置. 本研究中状态变量为叶绿素 a 浓度.

(3) 预报部分,又称为时间更新,这是指前后两个相邻观测时刻之间状态向量及其不可靠性的改变:

$$x_n^f = M_{n-1} x_{n-1}^a \quad (10)$$

$$B_n = M_{n-1} A_{n-1} M_{n-1}^T + Q_{n-1} \quad (11)$$

式中, M 为线性的模型算子, Q 为模式误差的协方差矩阵.

(4) 进入下一个时刻,如此循环往复地执行分析部分和预报部分.

从卡尔曼滤波的计算公式可以看出,在计算过程中该算法需要线性模型和线性观测算子,同时依赖于数值模式的切线性模式和伴随模式. 对于复杂的非线性系统,其应用是非常困难的. 为了克服这一缺点,Evensen^[17]于1994年提出了集合Kalman滤波算法. 本研究中采用的同化方法为集合均方根滤波,该方法是在集合Kalman滤波的基础上融合均方根滤波的算法,这样可以降低计算成本,提高运算效率.

1.4.3 集合均方根滤波

所谓均方根滤波器是指不用协方差矩阵本身,而用其矩阵平方根来执行协方差的时间和观测更新的Kalman滤波器. 根据Whitaker等^[18]提出的确定性观测法的集合均方根滤波器算法. 不需要对观测值进行扰动,减少了误差的引入. 利用了蒙特卡罗方法的思想,用符合高斯分布的一组随机变量(设数目为 N)去代表随机动态预报中的概率密度函数,通过向前积分,计算下一个时刻状态总体的概率密度,并得到该时刻的统计特性(如均值与协方差).

集合均方根滤波的算法如下.

①估计所有时刻的观测误差(R_n)和模式误差协方差矩阵(Q_n). 已知初始时刻的背景值 x_0^f 和相应的协方差矩阵 B_0 ,进行随机取样,即 $x_{0(k)}^f \sim N(x_0^f, B_0)$, $k=1, 2, \dots, K$. 假设样本总数为 K .

②计算卡尔曼增益矩阵 K_n :

$$K_n = B_n H_n^T (H_n B_n H_n^T + R_n)^{-1} \quad (12)$$

$$B_n H_n^T = \frac{1}{K-1} \sum_{k=1}^K \left[x_{n(k)}^f - \bar{x}_n^f \right] \left[H_n(x_{n(k)}^f) - \overline{H_n(x_{n(k)}^f)} \right]^T \quad (13)$$

$$H_n B_n H_n^T = \frac{1}{K-1} \sum_{k=1}^K \left[H_n(x_{n(k)}^f) - \overline{H_n(x_{n(k)}^f)} \right] \left[H_n(x_{n(k)}^f) - \overline{H_n(x_{n(k)}^f)} \right]^T \quad (14)$$

$$\bar{x}_n^f = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K x_{n(k)}^f \quad (15)$$

在求解增益矩阵的过程中,采用了通过样本来计算增益矩阵的方法,这样可以达到降低计算机存储和提高运算效率的目的. 在这里观测算子可以不是线性的.

③进行分析场的观测更新,采用确定性观测的方法进行观测更新,分别对均值场 $\bar{x}^a$ 和偏差场 x'^a 进行更新.

$$\bar{x}_{n(k)}^a = \bar{x}_n^a + x'_{n(k)}^a \quad (16)$$

$$\bar{x}_n^a = \bar{x}_n^f + K_n [\bar{y}_n^o - \overline{H_n(\bar{x}_n^f)}] \quad (17)$$

$$x_{n(k)}'^a = x_{n(k)}^f - \tilde{K}_n H_n x_{n(k)}^f \quad (18)$$

式中, $\tilde{K}_n$ 为针对偏差场更新时的新增增益矩阵,设 Z_b 和 Z_r 分别为矩阵 B 和 R 的平方根,令 $D = HBH^T + R$, Z_d 为 D 的矩阵平方根,从而:

$$\tilde{K}_n = B_n H_n (Z_d^{-1})^T (Z_d + Z_r)^{-1} \quad (19)$$

④进行预报,也就是进行状态的时间更新:

$$x_{n(k)}^f = M_{n-1}(x_{n-1(k)}^a) + \eta_{n-1(k)} \quad (20)$$

其中 $\eta_{n-1(k)} \sim N(0, Q_{n-1})$, $k=1, 2, \dots, K$. 在这里 M 代表叶绿素a扩散模拟模型.

⑤回到步骤②,如此循环往复.

1.5 初始数据和边界条件

基于风生流的叶绿素a扩散模型所需的初始浓度场数据由2010年5月20日太湖野外实验所测叶绿素a浓度,进行全湖插值所得(图3). 风速、风向资料由当日气象站资料结合实测资料插值得到整个区域. 入湖河口分布如图4.

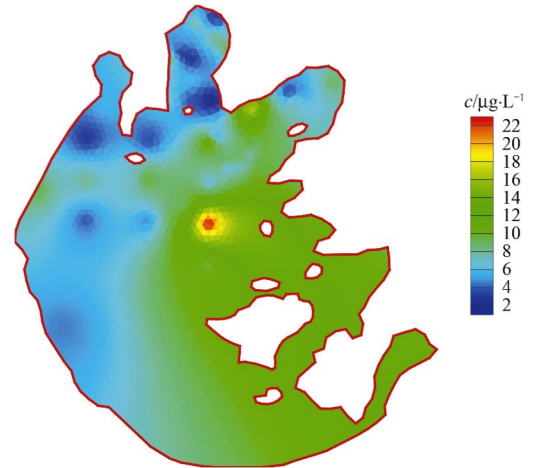


图3 叶绿素a浓度初值场

Fig. 3 Initial value of chlorophyll a concentration

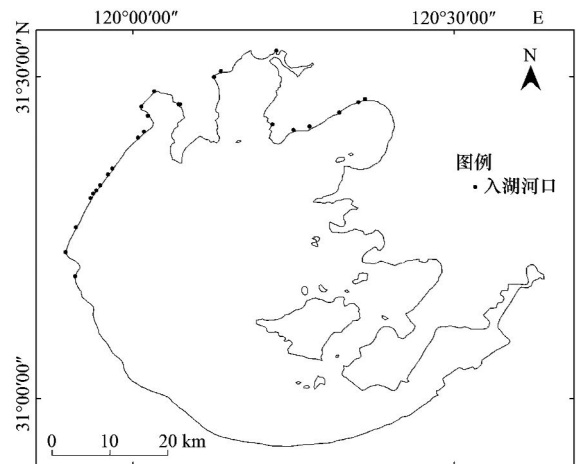


图4 入湖河口分布

Fig. 4 Lake estuary distribution

1.6 误差分析

对于模拟、同化、观测结果,采用两种误差分析方法:①均方根误差(root mean square error, RMSE);②平均相对误差(average relative error, ARE).

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\text{obs}_i - X_i)^2} \quad (21)$$

$$\text{ARE} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|\text{obs}_i - X_i|}{\text{obs}_i} \quad (22)$$

式中, N 为整个观测时间, obs_i 为 i 时刻的观测值, X_i 为 i 时刻的叶绿素 a 扩散模拟值或同化结果.

2 结果与讨论

2.1 叶绿素 a 估算与预测结果

利用 2010 年 5 月 20 日 10 点叶绿素 a 数据作为初始数据,此后每隔 1 h 同化一次观测数据,从 10:00 ~ 15:00 是同化过程,16:00 ~ 21:00 为以 15:00 的同化结果作为初值场进行 6 h 预报的结果. 集合数取为 40,背景场误差 $B=0.2$,观测误差为 $R=0.1$. 在本实验中,假设叶绿素 a 扩散模型是完美模型,即 $Q=0$. 由于在野外受到的不确定性因素较多,所以这里将观测误差设定得偏大一些. 图 5 中

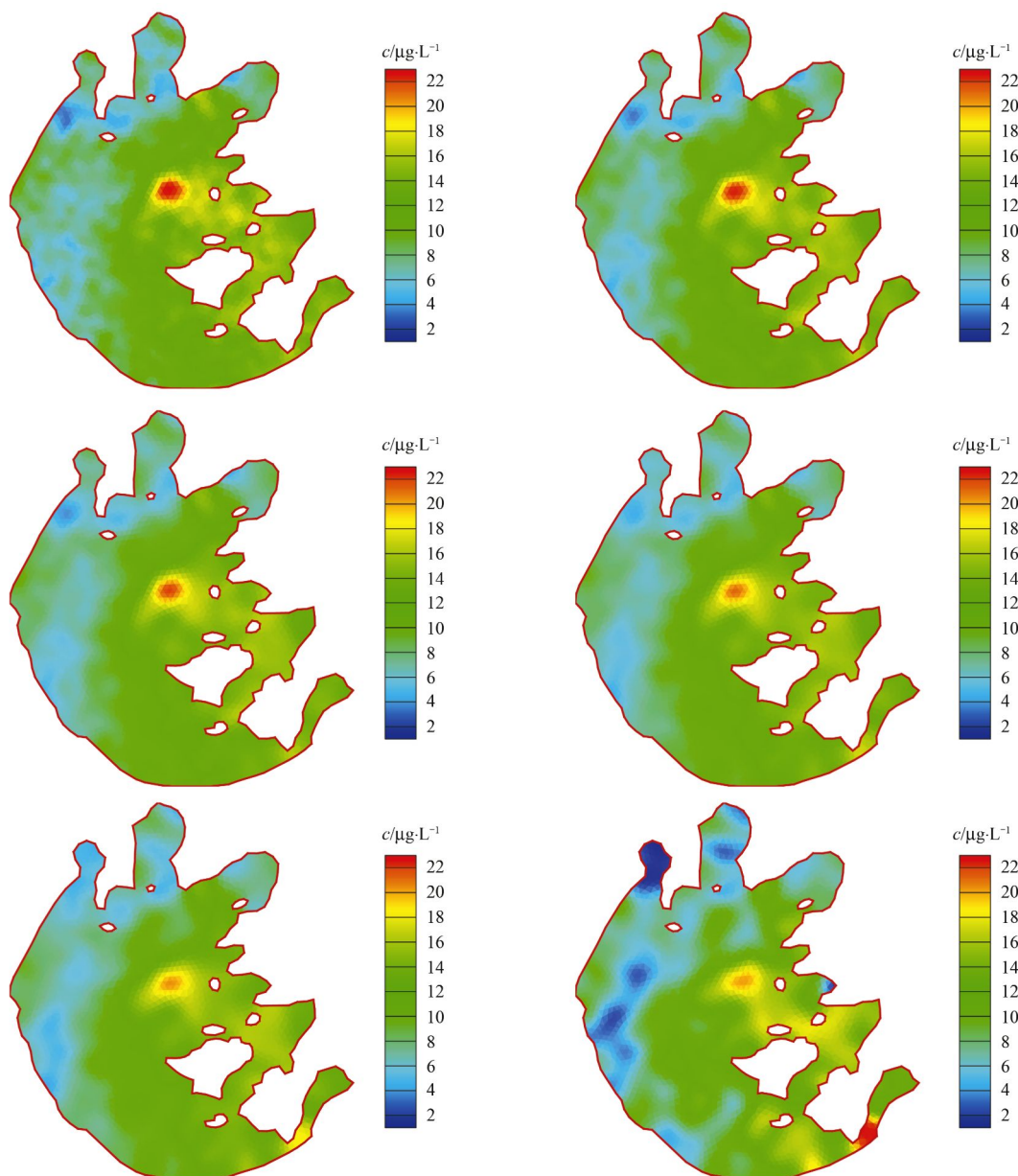


图 5 同化期间叶绿素 a 浓度场变化情况

Fig. 5 Variation of chlorophyll a concentration during assimilation

列出了在同化期间,从 10:00 ~ 15:00,太湖叶绿素 a 浓度场的变化情况. 从图 5 中可以看出,有浮标观测区域的叶绿素 a 浓度变化较为平稳,并且与浮标观测值也较为吻合(见随后的效果分析). 太湖整体北部区域的叶绿素 a 浓度变化趋势与样点实测数据也较为一致. 由于在太湖南边缺少样点分布,并且在较短的同化时间内,有观测数据的同化效果也无法影响至较远的地区,所以太湖南部区域存在一定的误差. 导致太湖南部地区出现局部的高浓度叶绿素 a 现象.

2.2 数据同化的效果分析

图 6 是 2010 年 5 月 20 日利用太湖浮标观测数据进行同化叶绿素 a 浓度的结果. 其中模拟数据是通过叶绿素 a 扩散模型直接模拟所得数据. 从中可以看出,随着每隔 1 h 同化观测数据,同化结果逐步趋向于观测数据. 从图 6 中还可以看出,同化曲线在同化过程中出现了不同程度的“上扬”. 也就是在

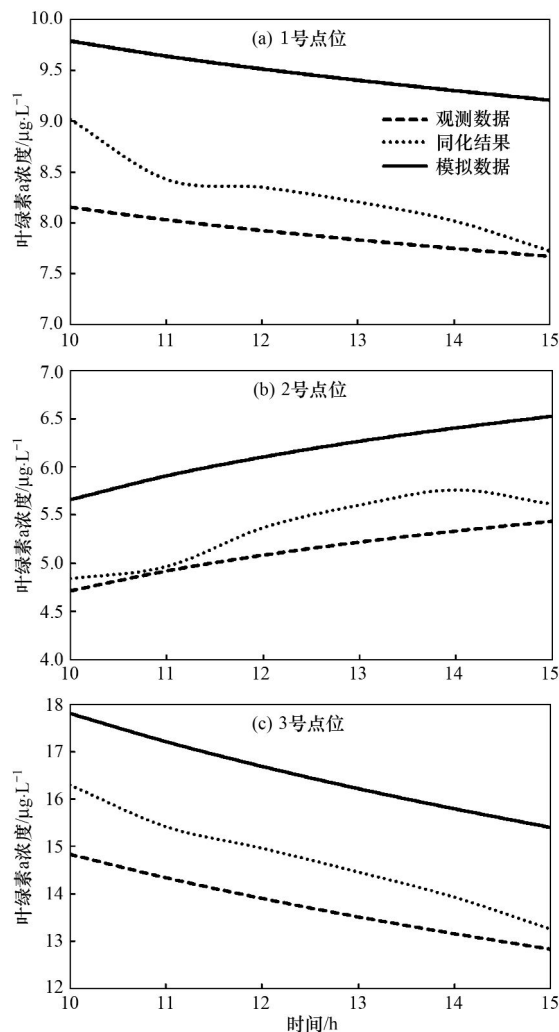


图 6 叶绿素 a 同化结果

Fig. 6 Assimilation results of chlorophyll a concentration

同化过程中集合卡尔曼滤波出现了轻微的发散,导致同化结果偏离观测数据. 由于叶绿素 a 扩散模型采用的是对流扩散模型,使得在同化初期集合离散度迅速下降. 而后随着观测数据的不断同化,集合离散度^[19,20]的变化变得较为平稳,最终同化曲线还是平稳的趋向于观测数据. 也正是由于数值模型采用的是对流扩散模型,所以模拟曲线和同化曲线的变化都较为平稳. 从整体上看,同化还是取得了较好的效果. 由于基于风生流的叶绿素 a 扩散模拟数值模型会受到初值和边界条件等的不确定性因素的影响,导致其预测结果不准确. 本研究以 15:00 同化结果作为叶绿素 a 扩散模拟数值模型的初始浓度场,进行后续为期 6 h 的预报. 从图 7 中可以看出,预测结果与观测数据较为接近了,而模拟数据还是有较大的误差存在. 其中 1 号点位的预测结果比真实观测值略微偏低,而 2 号和 3 号点位的预测结果仍然高于观测结果. 通过集合均方根滤波算法,与

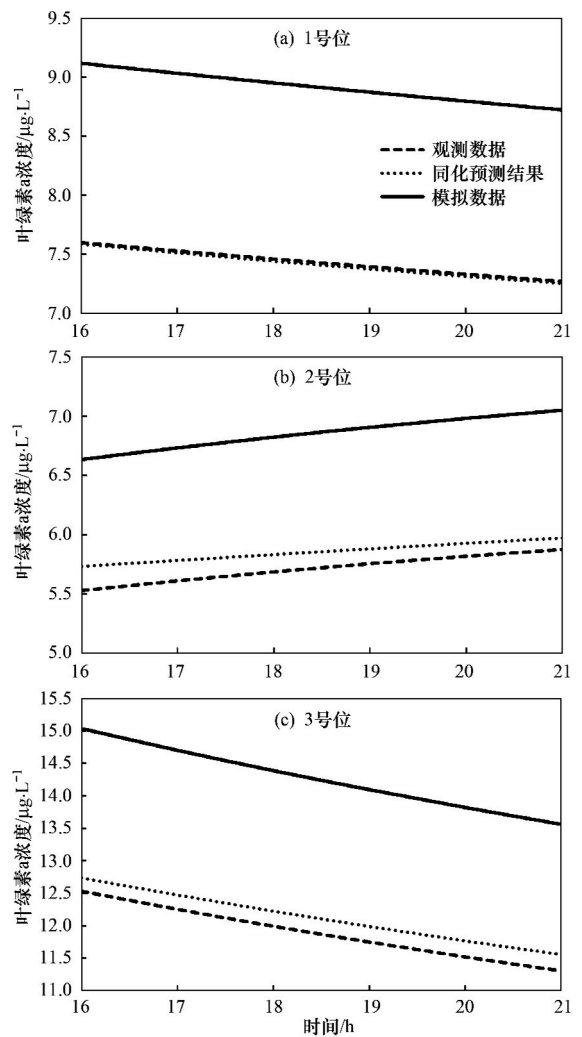


图 7 叶绿素 a 预测结果

Fig. 7 Prediction results of chlorophyll a concentration

模拟数据相比,大大提高了叶绿素 a 浓度的估算和预测精度。

2.3 精度分析

由表 1 可以看到,在叶绿素 a 扩散模拟模型运行过程中同化浮标观测值降低了叶绿素 a 的估算误差。以同化后的结果作为初值进行预测,大大降低了均方根误差和平均相对误差,提高了预报的精度。在同化阶段,均方根误差分别从 1.58、1.025、2.76 降低到了 0.465、0.276、1.01,平均相对误差也从 0.2 降低到了 0.05、0.046、0.069。在预报阶段,均方根误差从 1.486、1.143、2.38 降低到了 0.017、0.147、0.23,平均相对误差也从 0.2 降低到了 0.002、0.025、0.019。

表 1 叶绿素 a 扩散模拟、同化和预测结果误差比较

Table 1 Comparison of chlorophyll a concentrations between simulation and assimilation results

点位	阶段	均方根误差(RMSE)		平均相对误差(ARE)	
		模拟	同化	模拟	同化
1	同化	1.58	0.465	0.2	0.05
	预报	1.486	0.017	0.2	0.002
2	同化	1.025	0.276	0.2	0.046
	预报	1.143	0.147	0.2	0.025
3	同化	2.76	1.01	0.2	0.069
	预报	2.38	0.23	0.2	0.019

3 结论

(1) 基于集合均方根滤波的数据同化方法可以降低模拟的误差,同化前后相比,叶绿素 a 的均方根误差和平均相对误差都有所降低。利用集合均方根滤波的数据同化方法,可以提高叶绿素 a 的预测精度。

(2) 基于集合均方根滤波的方法可以降低模型运行过程中的误差积累,同化后的误差演进比较稳定,说明本文提出的同化方案是可行的。通过数据同化,可以利用离散样点的观测值,推算整个水体叶绿素含量,有利于水环境质量的实时评价。

(3) 将数据同化的方法应用于其他湖区中时,水体动力学模型的数值计算方法会受到相应湖区的特定边界不同而采用不同的数值离散方法,数值计算方法也会发生相应的改变。为了达到最优的同化预测效果,集合均方根滤波中的相关参数,会随着动力学模型以及该湖区的背景场和观测场误差发生相应的改变。

(4) 将该方法应用于其他水质参数如:总磷、总氮、悬浮颗粒物等的估算和预测,可以对水环境质量更加全面、综合的评价。

致谢:对刘忠华、徐昕在实验方面提供的帮助,在此表示感谢!

参考文献:

- [1] 黄春林, 李新. 基于集合卡尔曼滤波的土壤水分同化试验[J]. 高原气象, 2006, **25**(4): 665-671.
- [2] Moradkhani H, Sorooshian S, Gupta H V, *et al.* Dual state-parameter estimation of hydrological models using ensemble Kalman filter[J]. *Advances in Water Resources*, 2005, **28**(2): 135-147.
- [3] Davenport I J, Silgram M, Robinson J S, *et al.* The use of earth observation techniques to improve catchment-scale pollution predictions[J]. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 2003, **28**(33-36): 1365-1376.
- [4] 赵骞, 田纪伟, 曹丛华, 等. 渤海、黄海、东海冬季海流场温度场数值模拟和同化技术[J]. 海洋学报, 2005, **27**(1): 1-6.
- [5] 马继瑞, 韩桂军, 李冬. 变分伴随数据同化在海表面温度预报中的应用研究[J]. 海洋学报, 2002, **24**(5): 1-7.
- [6] Ussif A M, Sandal L K, Steinshamn S I. A new approach of fitting biomass dynamics models to data [J]. *Mathematical Biosciences*, 2003, **182**(1): 67-79.
- [7] McLaughlin D. An integrated approach to hydrologic data assimilation: interpolation, smoothing, and filtering [J]. *Advances in Water Resources*, 2002, **25**(8-12): 1275-1286.
- [8] Aubert D, Loumagne C, Oudin L. Sequential assimilation of soil moisture and streamflow data in a conceptual rainfall-runoff model [J]. *Journal of Hydrology*, 2003, **280**(1-4): 145-161.
- [9] Smith N R. The global ocean data assimilation experiment [J]. *Advances in Space Research*. 2000, **25**(5): 1089-1098.
- [10] 张生雷, 谢正辉, 师春香, 等. 集合 Kalman 滤波在土壤湿度同化中的应用[J]. 大气科学, 2008, **32**(6): 1419-1430.
- [11] 张学峰. 集合卡尔曼滤波数据同化方法在海温数值预报中的应用研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2005. 6-8.
- [12] Le C F, Li Y M, Zha Y, *et al.* Specific absorption coefficient and the phytoplankton package effect in Lake Taihu, China [J]. *Hydrobiologia*, 2009, **619**(1): 27-37.
- [13] Zhang Z, Song Z Y, Lv G N. A new implicit scheme for solving 3-D shallow water flows [J]. *Journal of Hydrodynamics (Series B)*, 2009, **21**(6): 790-798.
- [14] Zhang Z, Song Z Y. Three-dimensional numerical modeling for wind-driven circulation and pollutant transport in a large-scale lake [A]. In: *International Conference of Bioinformatics and Biomedical Engineering* [C]. Chengdu: IEEE, 2010. 1-7.
- [15] Kalman R E. A new approach to linear filtering and prediction problems [J]. *Transactions of the American Society of Mechanical Engineering, Journal of Basic Engineering Series D*, 1960, **82**: 35-45.
- [16] 曾忠一. 大气科学中的反问题(上册) [M]. 台北: 国立编译馆, 2006. 341-347.
- [17] Evensen G. Sequential data assimilation with a nonlinear quasi-geostrophic model using Monte Carlo methods to forecast error statistics [J]. *Journal of Geophysical Research*, 1994, **99**(C5):

- 10143-10162.
- [18] Whitaker J S, Hamill T M. Ensemble data assimilation without perturbed observations[J]. Monthly Weather Review, 2002, **130** (7): 1913-1924.
- [19] Aksoy A, Dowell D C, Snyder C. A multicas e comparative assessment of the ensemble kalman filter for assimilation of radar observations. Part I: Storm-scale analyses[J]. Monthly Weather Review, 2009, **137**(6): 1805-1824.
- [20] 谭燕, 陈德辉. 基于非静力模式物理扰动的中尺度集合预报试验[J]. 应用气象学报, 2007, **18**(3): 396-407.

《环境科学》征稿简则

1. 来稿报道成果要有创新性,论点明确,文字精炼,数据可靠.全文不超过8 000字(含图、表、中英文摘要及参考文献).国家自然科学基金项目、国家科技攻关项目、国际合作项目或其它项目请在来稿中注明(在首页以脚注表示).作者投稿时请先登陆我刊网站(www.hjks.ac.cn)进行注册,注册完毕后以作者身份登录,按照页面给出的提示信息投稿即可.

2. 稿件请按GB 7713-87《科学技术报告、学位论文和学术论文的编写格式》中学术论文的规范撰写.论文各部分的排列顺序为:题目;作者姓名;作者工作单位、地址、邮政编码;中文摘要;关键词;中图分类号;英文题目;作者姓名及单位的英译名;英文摘要;关键词;正文;致谢;参考文献.

3. 论文题目应简练并准确反映论文内容,一般不超过20字,少用副标题.

4. 中文摘要不少于300字,以第三人称写.摘要内容包括研究工作的目的、方法、结果(包括主要数据)和结论,重点是结果和结论.英文摘要与中文对应,注意人称、时态和语言习惯,以便准确表达内容.

5. 前言包括国内外前人相关工作(引文即可)和本工作的目的、特点和意义等.科普知识不必赘述.

6. 文中图表应力求精简,同一内容不得用图表重复表达,要有中英文对照题目.图应大小一致,曲线粗于图框,图中所有字母、文字字号大小要统一.表用三线表.图表中术语、符号、单位等应与正文一致.

7. 计量单位使用《中华人民共和国法定计量单位》(SI).论文中物理计量单位用字母符号表示,如mg(毫克),m(米),h(小时)等.科技名词术语用国内通用写法,作者译的新名词术语,文中第一次出现时需注明原文.

8. 文中各级标题采用1,1.1,1.1.1的形式,左起顶格书写,3级以下标题可用(1),(2)……表示,后缩2格书写.

9. 文中外文字母、符号应标明其大小写,正斜体.生物的拉丁学名为斜体.缩略语首次出现时应给出中文全称,括号内给出英文全称和缩略语.

10. 未公开发表资料不列入参考文献,可在出现页以脚注表示.文献按文中出现的先后次序编排.常见文献书写格式为:

期刊:作者(外文也要姓列名前).论文名[J].期刊名,年,卷(期):起页-止页.

图书:作者.书名[M].出版地:出版社,年.起页-止页.

会议文集:作者.论文名[A].见(In):编者.文集名[C].出版地:出版社(单位),年.起页-止页.

学位论文:作者.论文名[D].保存地:保存单位,年份.

报告:作者.论文名[R].出版地:出版单位,出版年.

专利:专利所有者.专利题名[P].专利国别:专利号,出版日期.

11. 来稿文责自负,切勿一稿多投.编辑对来稿可作文字上和编辑技术上的修改和删节.在3个月内未收到本刊选用通知,可来电询问.

12. 投稿请附作者单位详细地址,邮编,电话号码,电子邮箱等.编辑部邮政地址:北京市2871信箱;邮编:100085;电话:010-62941102,010-62849343;传真:010-62849343;E-mail:hjks@rcees.ac.cn;网址:www.hjks.ac.cn

CONTENTS

Characteristics of Total Gaseous Mercury Concentrations at a Rural Site of Yangtze Delta, China	DOU Hong-ying, WANG Shu-xiao, WANG Long, <i>et al.</i> (1)
Compositions of Organic Acids in PM ₁₀ Emission Sources in Xiamen Urban Atmosphere	YANG Bing-yu, HUANG Xing-xing, ZHENG An, <i>et al.</i> (8)
Analysis on Water-soluble Inorganic Ions in the Atmospheric Aerosol of Xinglong	LI Xing-ru, SONG Ai-li, WANG Ying-feng, <i>et al.</i> (15)
Effects of Gaseous Compositions the on Simultaneous Removal of NO _x and SO ₂ from Simulated Flue Gas by Ammonia Absorption	WANG Hong, ZHU Tian-le, WANG Mei-yan (21)
Comparing the Ammonia Volatilization Characteristic of Two Typical Paddy Soil with Total Wheat Straw Returning in Taihu Lake Region	WANG Jun, WANG De-jian, ZHANG Gang, <i>et al.</i> (27)
Real-Time Analysis of Polyvinyl Chloride Thermal Decomposition/Combustion Products with Single Photon Ionization/Photoelectron Ionization Online Mass Spectrometer	CHEN Wen-dong, HOU Ke-yong, CHEN Ping, <i>et al.</i> (34)
Surface Characteristics of Alkali Modified Activated Carbon and the Adsorption Capacity of Methane	ZHANG Meng-zhu, LI Lin, LIU Jun-xin, <i>et al.</i> (39)
Distribution of Dimethylsulfoxide(DMSO) in the Surface Water of the Yellow Sea and the Bohai Sea	WANG Min, ZHANG Hong-hai, YANG Gui-peng (45)
Resolving Characteristic of CDOM by Excitation-Emission Matrix Spectroscopy Combined with Parallel Factor Analysis in the Seawater of Outer Yangtze Estuary in Autumn in 2010	YAN Li-hong, CHEN Xue-jun, SU Rong-guo, <i>et al.</i> (51)
Estimation and Forecast of Chlorophyll a Concentration in Taihu Lake Based on Ensemble Square Root Filters	LI Yuan, LI Yun-mei, WANG Qiao, <i>et al.</i> (61)
Research of Hyperspectral Reconstruction Based on HJ1A-CCD Data	GUO Yu-long, LI Yun-mei, ZHU Li, <i>et al.</i> (69)
Research on the Sensitivity of Geochemical of Underground River in Chongqing Xueyu Cave	XU Shang-quan, YANG Ping-heng, YIN Jian-jun, <i>et al.</i> (77)
Bivariate Statistical Model for Calculating Phosphorus Input Loads to the River from Point and Nonpoint Sources	CHEN Ding-jiang, SUN Si-yang, JIA Ying-na, <i>et al.</i> (84)
Temporal and Spatial Variations of Total Nitrogen and Total Phosphorus in the Typical Reaches of Qinhuai River	LI Yue-fei, XIA Yong-qiu, LI Xiao-bo, <i>et al.</i> (91)
Derivation and Application of Sediment Quality Criteria of Cd and Hg for the Xiangjiang River	JIANG Bo-feng, SANG Lei-xin, SUN Wei-ling, <i>et al.</i> (98)
Distribution and Pollution Assessment of Heavy Metals in Soil of Relocation Areas from the Danjiangkou Reservoir	ZHANG Lei, QIN Yan-wen, ZHENG Bing-hui, <i>et al.</i> (108)
Concentrations of Soil Heavy Metals and Their Spatial Distribution in the Surrounding Area of Fenhe Reservoir	LI Jin-chang, ZHANG Hong, SHI Wei (116)
Distribution and Health Risk Assessment of Heavy Metals of Groundwaters in the Irrigation District of the Lower Reaches of Yellow River	ZHANG Yan, LI Fa-dong, OUYANG Zhu, <i>et al.</i> (121)
Concentrations and Distribution of Organochlorine Pesticides in the Surface Sediments of Jiaozhou Bay, Taozi Bay and Sishili Bay	LIU Yi-kai, ZHONG Guang-cai, TANG Jian-hui, <i>et al.</i> (129)
Choice of Macroinvertebrate Metrics for Constructing a Benthic-Index of Biotic Integrity Based on the Disturbance Gradients in the Qinjiang River Basin	LU Dong-qi, ZHANG Yong, CAI De-suo, <i>et al.</i> (137)
Isolation and Identification of <i>Marinobacter adhaerens</i> HY-3 and Its Allelopathy on <i>Skeletonema costatum</i>	WANG Hong-bin, CHEN Wen-hui, LI Xin-shu, <i>et al.</i> (145)
Effects of the Rice Straw on <i>Microcystis aeruginosa</i> Analyzed by Different Physiological Parameters	SU Wen, KONG Fan-xiang, YU Yang, <i>et al.</i> (150)
Effects of Allelochemicals Ethyl Cinnamate on the Growth and Physiological Characteristics of <i>Chlorella pyrenoidosa</i>	GAO Li-li, GUO Pei-yong, SU Guang-ming, <i>et al.</i> (156)
Hydraulic Simulation and Safety Assessment of Secondary Water Supply System with Anti-Negative Pressure Facility	WANG Huan-huan, LIU Shu-ming, JIANG Shuai, <i>et al.</i> (163)
Effect of Relative Molecular Mass Distribution and Hydrophilicity/Hydrophobicity of NOM on Membrane Fouling in MF-combined Process	HU Meng-liu, LIN Jie, XU Guang-hong, <i>et al.</i> (169)
Effect of Permeabilization on Sulfate Reduction Activity of <i>Desulfovibrio vulgaris</i> Hildenborough Cells in the Presence of Different Electron Donors	XU Hui-wei, ZHANG Xu, LI Li-ming, <i>et al.</i> (177)
Dechlorination of HCB by Bimetals Based on Zero Valent Iron	ZENG Xian-wei, LIU Jian-guo, NIE Xiao-qin (182)
Study on Kinetics of Photoelectrocatalytic Degradation of Supported TiO ₂ on Malachite Green	ZHANG Xiao-na, ZHOU Shao-qi, ZHOU Xiao (188)
Measurement and Analysis of Micropore Aeration System's Oxygenating Ability Under Operation Condition in Waste Water Treatment Plant	WU Yuan-yuan, ZHOU Xiao-hong, SHI Han-chang, <i>et al.</i> (194)
Influence of Microbubble and Its Generation Process on Mixed Liquor Properties of Activated Sludge	LIU Chun, MA Jin, ZHANG Lei, <i>et al.</i> (198)
Impact of Different Nitrogen Concentrations on the N ₂ O Production in the Denitrification Process of Granular Sludge	HAN Xue, GAO Da-wen (204)
Effect of Simulated Heavy Metal Leaching Solution of Electroplating Sludge on the Bioactivity of <i>Acidithiobacillus ferrooxidans</i>	XIE Xin-yuan, SUN Pei-de, LOU Ju-qing, <i>et al.</i> (209)
Characteristic and Ion Exchanges During Cu ²⁺ and Cd ²⁺ Biosorption by <i>Stenotrophomonas maltophilia</i>	BAI Jie-qiong, YIN Hua, YE Jin-shao, <i>et al.</i> (217)
Sorption of Nitrobenzene to Anionic Surfactant Modified Layered Double Hydroxides	XIA Yan, ZHU Run-liang, TAO Qi, <i>et al.</i> (226)
Study on Phosphate Removal and Recovery by Activated Alumina	MENG Wen-na, XIE Jie, WU De-yi, <i>et al.</i> (231)
Spatial Distribution of Inhalable Particulate and Association with Respiratory Disease in Beijing City	YANG Wei, ZHAO Wen-ji, GONG Zhao-ning, <i>et al.</i> (237)
Pollution Levels of Perfluorochemicals in Chicken Eggs and Duck Eggs from the Markets in Beijing	QI Yan-jie, ZHOU Zhen, SHI Ya-li, <i>et al.</i> (244)
Residual Levels of Pesticides in Freshwater Fish from Beijing Aquatic Product Markets and Health Risk Assessment	YU Zhi-yong, JIN Fen, SUN Jing-fang, <i>et al.</i> (251)
Characterizing the Toxicity Interaction of the Binary Mixture Between DMSO and Pesticide by the Multi-Effect Residual Analysis (MERA)	HUO Xiang-chen, LIU Shu-shen, ZHANG Jing, <i>et al.</i> (257)
Isolation of Quinoloprop-ethyl-degrading Bacteria from Soil by DGGE-Colony <i>in situ</i> Hybridization	LÜ Xin, PENG Xia-wei, HU Qing, <i>et al.</i> (263)
White-Rot Fungi Combinations Impact on Enzyme Productions	MENG Yao, LIANG Hong, GAO Da-wen (271)
Effects of Different Fertilizer Application on Soil Active Organic Carbon	ZHANG Rui, ZHANG Gui-long, JI Yan-yan, <i>et al.</i> (277)
Effect of Reclamation on the Vertical Distribution of SOC and Retention of DOC	HUO Li-li, ZOU Yuan-chun, GUO Jia-wei, <i>et al.</i> (283)
Distribution Characteristics of Soil Organic Carbon and Its Composition in <i>Suaeda salsa</i> Wetland in the Yellow River Delta	DONG Hong-fang, YU Jun-bao, GUAN Bo (288)
Study the Restoration Technology of Concentrated Application-Natural Diffusion about Amendments of Acidified Soil of Hilly Woodland	FANG Xiong, LIU Ju-xiu, YIN Guang-cai, <i>et al.</i> (293)
Optimizing Remediation Conditions of Non-thermal Plasma for DDTs Heavily Contaminated Soil	CHEN Hai-hong, LUO Yong-ming, TENG Ying, <i>et al.</i> (302)
Chemical Extraction of Arsenic Co-precipitated with Amorphous Fe(OH) ₃ and Fe ₃ O ₄	CHEN Yi-ping, WANG Shao-feng, JIA Yong-feng (308)
Influence of Aluminum and Manganese on the Growth, Nutrient Uptake and the Efflux by Ectomycorrhizal Fungi	LI Hua, HUANG Jian-guo, YUAN Ling (315)
High-solids Anaerobic Co-digestion of Sludge and Kitchen Garbage Under Mesophilic Conditions	DUAN Ni-na, DONG Bin, LI Jiang-hua, <i>et al.</i> (321)
Preparation, Characterization and Adsorption Performance of High Surface Area Biomass-based Activated Carbons	LI Kun-quan, LI Ye, ZHENG Zheng, <i>et al.</i> (328)
Study on Strategies of Pollution Prevention in Coastal City of Zhejiang Province Based on Scenario Analysis	TIAN Jin-ping, CHEN Lü-jun, DU Peng-fei, <i>et al.</i> (336)
Advance in the Bioavailability Monitoring of Heavy Metal Based on Microbial Whole-cell Sensor	HOU Qi-hui, MA An-zhou, ZHUANG Xiu-liang, <i>et al.</i> (347)
Characteristics of Heavy Metal Contamination in Street Dusts Along the Urban-Rural Gradient Around Beijing	HE Xiao-yan, GU Pei, LI Xu-yong, <i>et al.</i> (357)
Content Trends of Pollutants in Street Dust of Beijing Along the Urban-Rural Gradient and Road Density Gradient	TANG Rong-li, MA Ke-ming, ZHANG Yu-xin, <i>et al.</i> (364)
Analysis of First Flush Effect of Typical Underlying Surface Runoff in Beijing Urban City	REN Yu-fen, WANG Xiao-ke, OUYANG Zhi-yun, <i>et al.</i> (373)
Temporal Variation of Water Quality and Driving Factors in Yanghe Watershed of Zhangjiakou	PANG Bo, WANG Tie-yu, LÜ Yong-long, <i>et al.</i> (379)
Research on Carbon Reduction Potential of Electric Vehicles for Low-Carbon Transportation and Its Influencing Factors	SHI Xiao-qing, LI Xiao-nuo, YANG Jian-xin (385)
Investigation of Waste Classification and Collection Actual Effect and the Study of Long Acting Management in the Community of Beijing	DENG Jun, XU Wan-ying, ZHOU Chuan-bin (395)
Problems and Countermeasures in the Application of Constructed Wetlands	HUANG Jin-lou, CHEN Qin, XU Lian-huang (401)

《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)

2013年1月15日 34卷 第1期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 34 No. 1 Jan. 15, 2013

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

国内外公开发刊