

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第33卷 第5期

Vol.33 No.5

2012

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

区域空气质量模拟中查表法的应用研究	谢旻,王体健,江飞,李树,蔡彦枫,庄炳亮	(1409)
长江三角洲地区秸秆露天焚烧大气污染物排放清单及其在空气质量模式中的应用	苏继峰,朱彬,康汉青,王红磊,王体健	(1418)
北京及周边城市一元脂肪酸大气颗粒物干沉降通量及来源分析研究	徐小娟,李杏茹,王跃思,刘晨书,潘月鹏,王英锋	(1425)
上海大气超细颗粒物和工业纳米颗粒的表征及细胞毒性的比较研究	张睿,吕森林,尚羽,易飞,任晶晶,郝晓洁,安静,吴明红	(1431)
青岛市大气 PM _{2.5} 元素组成及来源研究	李秀镇,盛立芳,徐华,屈文军	(1438)
冬季天津家庭室内空气颗粒物中邻苯二甲酸酯污染研究	王夫美,陈丽,焦姣,张雷波,姬亚芹,白志鹏,张利文,孙增荣,张星梅	(1446)
再悬浮装置在大气 PM _{2.5} 源谱分析中的应用	段恒轶,钱冉冉,吴水平,印红玲	(1452)
黔西南煤燃烧产物微量元素分布特征及富集规律研究	魏晓飞,张国平,李玲,项萌,蔡永兵	(1457)
三峡水库不同运行状态下支流澎溪河水-气界面温室气体通量特征初探	蒋滔,郭劲松,李哲,方芳,白镭,刘静	(1463)
香溪河库湾夏季温室气体通量及影响因素分析	王亮,肖尚斌,刘德富,陈文重,王雨春,陈小燕,段玉杰	(1471)
臭氧浓度升高与土壤湿度对农田土壤微生物呼吸温度敏感性的影响	陈书涛,张勇,胡正华,史艳妹,沈小帅	(1476)
托木尔峰青冰滩 72 号冰川径流水化学特征初步研究	赵爱芳,张明军,李忠勤,王飞腾,王圣杰	(1484)
五大连池水溶性有机磷矿化特性的研究	张斌,席北斗,赵越,魏自民,白雪,王曼林	(1491)
7 条环太湖河流沉积物氮含量沿程分布规律	卢少勇,远野,金相灿,焦伟,吴瑶洁,任德有,周羽化,陈雷	(1497)
巢湖十五里河沉积物氮磷形态分布及生物有效性	李如忠,李峰,周爱佳,童芳,钱家忠	(1503)
北运河系地表水近 10 年来水质变化及影响因素分析	郭婧,荆红卫,李金香,李令军	(1511)
东莞运河排涝对东江河网水质影响分析	孙磊,毛献忠,黄旻旻	(1519)
北京平原区地下水污染源识别与危害性分级	陆燕,何江涛,王俊杰,刘丽雅,张小亮	(1526)
地下水曝气修复过程的三维数值模拟	李恒震,胡黎明,王建,武晓峰,刘培斌	(1532)
垂向水动力扰动机的蓝藻控制效应数值实验研究	邹锐,周璟,孙永健,嵇晓燕,岳佳,刘永	(1540)
新型生物岛栅中污染物去除的微生物机制研究	高明瑜,谢慧君,王文兴	(1550)
营养盐水平对念珠藻胞外有机物产生的影响	齐飞,刘晓媛,徐冰冰,黄岳,封莉,张立秋	(1556)
水网藻种植水对铜绿微囊藻生长的抑制作用研究	傅海燕,柴天,赵坤,刘智峰,张明真,侯明,许鹏成	(1564)
酞酸酯在模拟海河苕草微宇宙中的消减和分布特征	迟杰,杨青	(1570)
电子束辐射对铜绿微囊藻毒素产生和释放的抑制作用研究	刘书宇,吴明红,姜钦鹏	(1575)
青铜峡灌区典型排水沟水污特征解析	李强坤,胡亚伟,罗良国	(1579)
四溴双酚 A 的辐射降解研究	李杰,徐殿斗,徐刚,马玲玲,吴明红	(1587)
污泥基活性炭催化臭氧氧化降解水中微量布洛芬的效能研究	王红娟,齐飞,封莉,张立秋	(1591)
高水力负荷对人工湿地处理精养虾塘排水效果的影响	李怀正,章星异,陈卫兵,叶剑峰	(1597)
城市污水生物脱氮系统出水经氯胺消毒形成 NDMA 的影响因素研究	尚晓玲,李咏梅	(1604)
利用淀粉基共混物作为反硝化固体碳源的研究	沈志强,吴为中,杨春平,陈佳利,王建龙	(1609)
好氧污泥颗粒化过程中 Zeta 电位与 EPS 的变化特性	王浩宇,苏本生,黄丹,崔晓姣,竺建荣	(1614)
活性污泥对病毒的生物吸附特性	周玉芬,郑祥,雷洋,陈迪	(1621)
阴离子型聚丙烯酰胺在离子交换膜上的吸附规律	邓梦洁,于水利,时文歆,衣雪松	(1625)
两性修饰膨润土对苯酚的吸附及热力学特征	李婷,孟昭福,张斌	(1632)
表面活性剂对苯并[a]芘在黑炭表面吸附解吸的影响	张景环,陈春溶,张玮航,栗桂州	(1639)
南京市 4 个污水处理厂的活性污泥中细菌的分离鉴定和抗生素耐药性分析	葛峰,郭坤,周广灿,张会娟,刘济宁,戴亦军	(1646)
焦化废水中苯酚降解菌筛选及其降解性能	陈春,李文英,吴静文,李静	(1652)
Xanthobacter flavus DT8 降解二噁烷的特性研究	金小君,陈东之,朱润晔,陈静,陈建孟	(1657)
未开发油气田地地表炔氧化菌空间定量分布	满鹏,齐鸿雁,呼庆,马安周,白志辉,庄国强	(1663)
矿化垃圾中氧化甲烷兼性营养菌的筛选与生物特性研究	赵天涛,项锦欣,张丽杰,全学军,赵由才	(1670)
长江中游干流及 22 条支流表层水中多氯联苯的分布特征及其潜在风险	李昆,赵高峰,周怀东,曾敏,廖柏寒,吴正勇,张盼伟,郝红	(1676)
典型血吸虫病区表层水中酚类化合物的污染特征及潜在风险	吴正勇,赵高峰,周怀东,李科林,曾敏,李昆,张盼伟,郝红	(1682)
闽江福州段沉积物中多环芳烃的空间分布异质性研究	陈卫锋,倪进治,杨红玉,魏然,杨玉盛	(1687)
三峡库区蓄水运用期表层沉积物重金属污染及其潜在生态风险评价	王健康,高博,周怀东,陆瑾,王雨春,殷淑华,郝红,袁浩	(1693)
典型电器工业区河涌沉积物中重金属的分布和潜在生态风险	邓代永,孙国萍,郭俊,张宏涛,张琴,许政英	(1700)
密云水库上游金属矿区土壤中重金属形态分布及风险评价	高彦鑫,冯金国,唐磊,朱先芳,刘文清,李宏兵	(1707)
湘西花垣矿区土壤重金属污染及其生物有效性	杨胜香,袁志忠,李朝阳,龙华,唐文杰	(1718)
基于 GIS 的某训练场土壤重金属污染评价	刘玉通,方振东,杨琴,谢朝新,王大勇,毛华军	(1725)
土壤质地和湿度对 SVE 技术修复苯污染土壤的影响	刘少卿,姜林,姚玉君,李艳霞,刘希涛,林春野	(1731)
蒙脱土、高岭土和针铁矿对 DNA 吸附与解吸特征	王慎阳,饶伟,王代长,张亚楠,李腾,唐冰培,杨世杰	(1736)
LNAPL 在砂质含水层中动态迁移的电阻率法监测试验研究	潘玉英,贾永刚,郭磊,李进军,单红仙	(1744)
亚临界水解预处理稻草秸秆制备活性炭及表征	董宇,申哲民,雷阳明,王茜,刘婷婷	(1753)
蓝藻好氧堆肥及其氮素损失控制的研究	任云,崔春红,刘奋武,占新华,周立祥	(1760)
固定化微生物技术修复 PAHs 污染土壤的研究进展	钱林波,元妙新,陈宝梁	(1767)
《环境科学》征订启事(1483)	《环境科学》征稿简则(1620)	信息(1490,1496,1586,1743)

东莞运河排涝对东江河网水质影响分析

孙磊, 毛献忠*, 黄旻旻

(清华大学深圳研究生院环境工程与管理研究中心, 深圳 518055)

摘要: 通过对东江东莞段及东莞运河进行连续5个月的水质监测, 分析东江和运河水质变化规律, 以及运河排涝对东江水质的影响。监测数据表明, 雨季东江东莞段 DO、高锰酸盐指数、 NH_4^+-N 、TP 平均浓度分别为 6.2、2.4、1.30、0.14 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$; 东莞运河平均浓度分别为 3.4、7.2、9.4、0.69 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$; 运河排涝对东江水质造成季节性的污染, 以氨氮最为严重, 实测高达 4.8 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。采用 CE-QUAL-W2 模型建立东江河网水动力水质模型, 模型结果和实测数据验证吻合, 高低水位的平均误差分别为 0.16 m 和 0.09 m, 氨氮平均误差为 0.13 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 。在模型验证的基础上计算分析在不同水文条件下运河排涝对河网的水质影响, 计算结果表明, 中水位排涝流量大, 污染带浓度低, 为 2.6 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 排出主要水体时间短, 是较好的排放方式。

关键词: 东江; 东莞运河; 排涝; CE-QUAL-W2 模型; 水质

中图分类号: X522 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2012)05-1519-07

Water Quality Impact of Dongjiang River Network Caused by Dongguan Canal Drainage

SUN Lei, MAO Xian-zhong, HUANG Min-min

(Research Center for Environmental Engineering and Management, Graduate School at Shenzhen, Tsinghua University, Shenzhen 518055, China)

Abstract: Based on 5-month consecutive in-situ monitoring data, this paper investigated water quality in Dongguan reach of Dongjiang River and Dongguan Canal, and water quality impact in Dongjiang River caused by the canal drainage during the rainy season. It shows that, the average of DO, permanganate index, NH_4^+-N and TP in the rainy season are 6.2, 2.4, 1.30 and 0.14 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ in Dongjiang River, respectively, and 3.4, 7.2, 9.4, 0.69 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ in Dongguan Canal, respectively. The canal drainage will lead to water quality seasonally polluted in Dongjiang River, especially ammonia nitrogen is the key pollution indicator, and the maximum observed is 4.8 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$. CE-QUAL-W2 model was applied to simulate the hydrodynamics and water quality in Dongjiang River network. The numerical results agree well with the field data. The average errors of high and low water levels are 0.16 m and 0.09 m, respectively, and the average error of ammonia nitrogen is about 0.13 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$. The model studied the different scenarios of water quality impact in the river network caused by the canal drainage under different hydrological conditions. The numerical results show that when the canal drainage at the median water level, the concentration in the pollutant zone is relatively low, about 2.6 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, and the influence time is shorter. It is a suitable way for the canal drainage.

Key words: Dongjiang River; Dongguan Canal; drainage; CE-QUAL-W2 model; water quality

珠江三角洲地区人口众多, 经济发达, 河网密布, 水系十分复杂。近20年来, 珠三角地区因洪水、台风暴雨^[1]以及人类活动的影响^[2], 受到潮洪涝灾害的威胁日趋严重, 丰水期洪涝灾害频发; 上游引水工程导致下泄流量减少, 枯水期咸水入侵加剧^[3]。这种季节性的水情变化导致水质季节性的污染, 严重影响珠三角地区城乡居民供水安全。

珠三角地区城市内河是工业废水和生活污水主要接纳水体, 雨季运河排涝后污染物下泄进入河网区, 在东江下游河网内形成的污染带, 随潮汐的运动在河网内长时间滞留, 造成季节性污染和水质性缺水, 严重影响东江饮用水水源功能和下游沿岸地区供水安全。东江是重要的饮用水源, 是东莞、深圳、香港等城市的主要供水水源, 因其重要性得到广泛关注, 王博等^[4]研究了东江干流的富营养化状况以及

区域差异, 刘金铃等^[5]对东江沉积物中的重金属进行了分析, 芦薇^[6]对东莞市的水环境现状进行了全面分析, 梁锦发^[7]对于东莞运河的污染状况及生态修复进行了全面的研究, 杨清书等^[8]研究表明东江河网区有机氯农药非点源污染特性在洪季表现更为突出。

本研究通过对东江东莞段和运河水质进行监测, 分析东江、运河旱季和雨季的水质状况以及运河排涝对河网水质影响的主要指标, 并采用 CE-QUAL-W2 模型建立东江河网区一维模型模拟东江

收稿日期: 2011-07-14; 修订日期: 2011-12-02

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2009ZX07423-001)

作者简介: 孙磊(1985~), 女, 硕士, 主要研究方向为水环境计算模拟。

* 通讯联系人, E-mail: maoxz@sz.tsinghua.edu.cn

河网水动力水质变化,计算分析不同水文条件下运河排涝对东江河网水质的影响程度。

1 区域概况

东江是珠江的支流,发源于江西省,总长度 562 km,流域总面积 35 340 km²,平均流量 700

m³·s⁻¹,东江干流进入东莞市后,在石龙处分为北干流和南支流进入东江三角洲河网地区,三角洲面积 1 380 km²,河网密度 0.6 km·km⁻²,最后通过大盛、麻涌、漳澎和泗盛围这 4 个口门汇入狮子洋,见图 1。石龙至博罗段坡度为 0.17‰,河网区为 0.1‰。

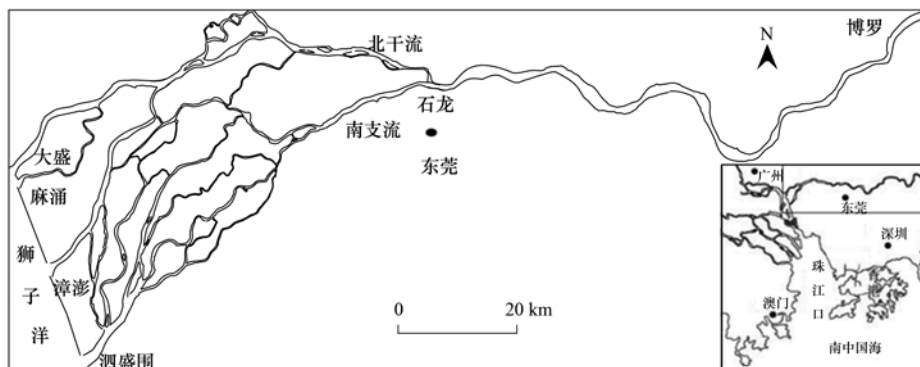


图 1 东江河网示意

Fig. 1 Sketch of Dongjiang River network

东莞运河建成于 1970 年,是集引淡、防洪、排涝、御咸、航运于一体的综合性水利排灌工程,通过峡口水闸与东江相连(见图 2)。20 世纪 80 年代以来东莞工业快速发展,外来人口急剧增长,沿河乡镇城市化,沿途各镇的生活污水、工业废水大量排入东莞运河。东莞市近 2/3 的污水排放入东莞运河,导致运河成为接纳流域内镇街工业废水和生活污水的主要收纳水体,致使东莞运河成为广东省水质较差的河流之一,自 1993 年东莞运河水质全面恶化,常年水质处于劣 V 类^[7]。东莞属于亚热带季风气候,雨季为 4~9 月,年平均降雨量为 1 819.9 mm,4~6 月为前汛期,以锋面低槽降水为主,7~9 月为后汛期,以台风降水为主,市境 96% 属东江流域。东江水质除自身的季节性变化外,雨季东莞运河通过峡口水闸排涝,污染带易受潮汐影响在河段内来回摆动不易排出,导致下游取水口较长时间无法正常供水,影

响城乡居民生活。

2 水质监测与分析

为调查东江和运河旱季和雨季的水质状况,分析东江受排涝影响的主要水质指标,2010 年 3~7 月对东江东莞段和运河进行每周一次采样分析,上午、下午各采样一次。东莞地区的雨季为 4~9 月,3 月的监测数据作为旱季数据,4~7 月的采样监测数据作为雨季数据。采样点分别设置在东莞第二水厂取水口附近,排涝闸下游约 200 m 处,第六水厂取水口和运河水闸附近,见图 2。主要分析的水质指标有 DO、高锰酸盐指数、NH₄⁺-N、TP 和重金属 Cr、Cd、Pb、Hg 等。

2.1 东江东莞段及运河水质分析

监测数据表明,东江的重金属浓度较低,符合 II 类水质要求,进入雨季后,铬、铅、汞基本处于未检出的状态;东莞运河重金属实测值也达到 II 类水质要求,说明东莞运河受到重金属的污染较轻,生活污水和沿岸农业灌溉排放是东莞运河的主要污染源。本研究主要分析常规污染物在旱季和雨季的变化规律,表 1 为东江东莞段和运河 DO、高锰酸盐指数、NH₄⁺-N 和 TP 监测结果。图 3 是东江和东莞运河各项水质的变化过程。

2.1.1 DO

东江溶解氧旱季在 2.9~6.8 mg·L⁻¹之间,平均值 3.9 mg·L⁻¹,进入雨季后溶解氧有显著提升且

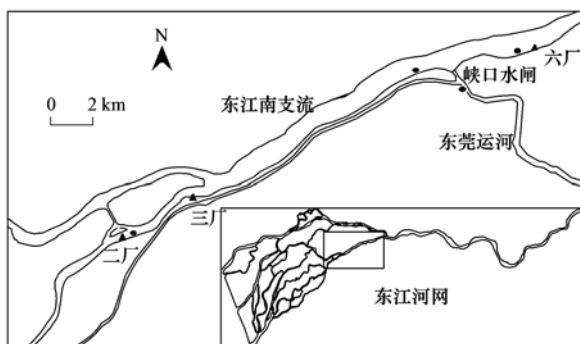


图 2 采样点分布示意

Fig. 2 Map of water plants and sampling sites

表 1 东江和运河旱季雨季水质监测结果/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$

项目	DO		高锰酸盐指数		NH_4^+-N		TP	
	旱季	雨季	旱季	雨季	旱季	雨季	旱季	雨季
	早季	雨季	旱季	雨季	旱季	雨季	旱季	雨季
东江	2.9~6.8	2.0~12.6	1.9~3.4	1.6~3.1	0.8~1.4	0.4~2.2	0.05~0.14	0.04~0.23
东江平均	3.9	6.2	2.5	2.4	1.1	1.3	0.1	0.14
运河	2.1~3.4	0.6~8.5	10.5~10.9	5.6~10.2	18~20	4.2~16.6	1.2~1.7	0.2~2.1
运河平均	2.5	3.4	10.7	7.2	18.8	9.4	1.5	0.69

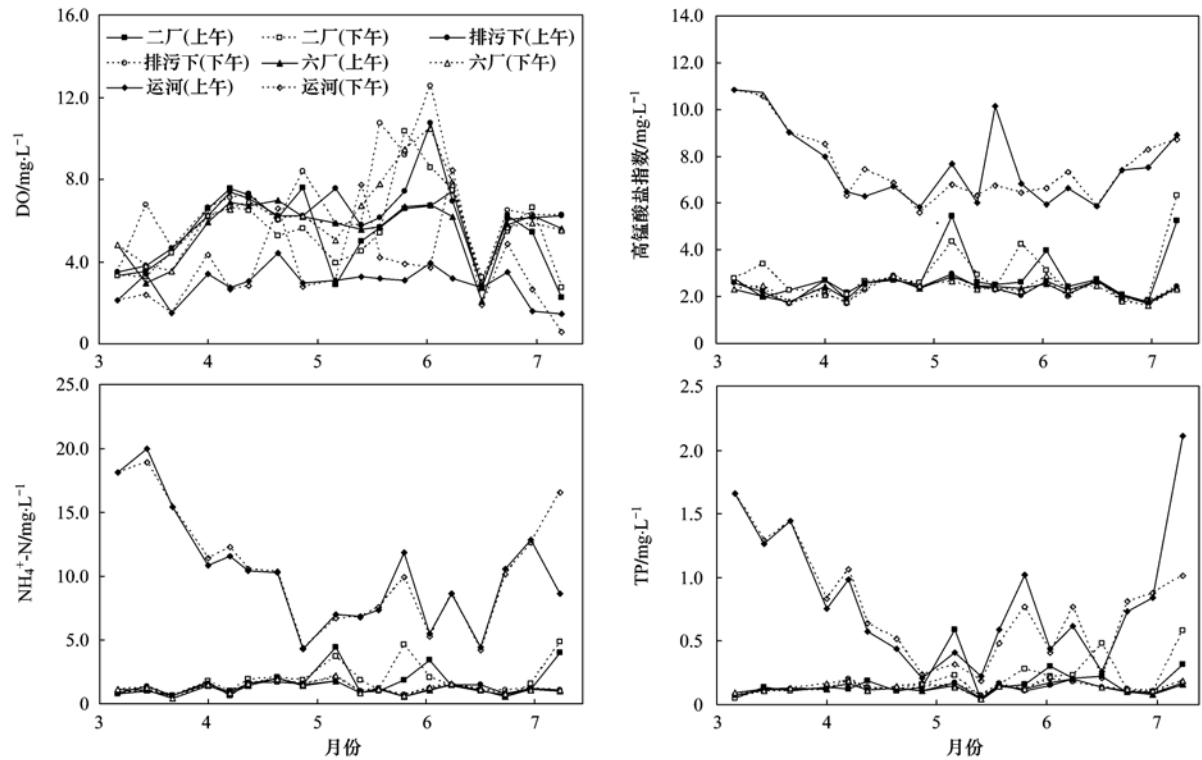


图 3 东江和运河 DO、高锰酸盐指数、 NH_4^+-N 和 TP 变化过程

Fig. 3 Monitoring results of DO, permanganate index, NH_4^+-N and TP in Dongjiang and Dongguan Canal

波动较大,在 $2.0 \sim 12.6 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 间变化,平均值 $6.2 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,满足 II 类水质要求. 东莞运河溶解氧一直维持在较低水平,旱季在 $2.1 \sim 3.4 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,平均 $2.5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,基本属缺氧状态;雨季有所提高,在 $0.6 \sim 8.5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 之间,平均 $3.4 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,溶解氧较大时是由于船体扰动所致.

2.1.2 高锰酸盐指数

东江高锰酸盐指数旱季和雨季差别很小,旱、雨季实测值范围分别为 $1.9 \sim 3.4 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $1.6 \sim 3.1 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,均值分别为 $2.5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $2.4 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,满足 II 类水质要求. 运河旱季高锰酸盐指数变化范围为 $10.5 \sim 10.9 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,均值 $10.7 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,雨季变化范围为 $5.6 \sim 10.2 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,均值 $7.2 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,进入雨季由于雨水稀释浓度明显下降,达到 IV 类水质要求.

2.1.3 NH_4^+-N

东江旱季和雨季 NH_4^+-N 监测值变化范围分别为 $0.8 \sim 1.4 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $0.4 \sim 2.2 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,均值分别为 $1.1 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $1.3 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,东江 NH_4^+-N 是污染较重的水质指标,仅能满足 IV 类水质要求. 运河 NH_4^+-N 监测值旱季和雨季的差别大,旱季变化范围为 $18 \sim 20 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,均值 $18.8 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$;雨季变化范围为 $4.2 \sim 16.6 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,均值 $9.4 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$. 运河 NH_4^+-N 也是受污染最严重的水质指标,且与东江差别较大.

2.1.4 TP

东江旱季和雨季 TP 差别较小,监测值变化范围分别为 $0.05 \sim 0.14 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $0.04 \sim 0.23 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,均值分别为 $0.10 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $0.14 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$,TP 基本满足 II、III 类水质要求. 运河 TP

监测值旱季和雨季的差别大,旱季变化范围为 1.2 ~ 1.7 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$,均值 1.5 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$;雨季变化范围为 0.2 ~ 2.1 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$,均值 0.69 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$.进入雨季后由于雨水稀释运河 TP 监测值降低.运河的 TP 也属于受污染较严重的水质指标,且和东江差别较大.

由图 3 可知,东江高锰酸盐指数、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 和 TP 这 3 个水质指标的变化趋势基本一致,雨季略高于旱季.运河进入雨季监测值有明显下降趋势,主要是因为雨季后大量雨水进入运河稀释造成的.

表 2 二厂取水口 4 次采样水质监测值

Table 2 Water quality results of the sampling site at the 2nd water plant

日期 (月·日)	降雨量 /mm	DO/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$		高锰酸盐指数/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$		$\text{NH}_4^+ - \text{N}/\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$		TP/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$	
		东江	运河	东江	运河	东江	运河	东江	运河
05-22	18.3	3.4	3.1	5.4	7.7	4.5	7.0	0.59	0.41
06-10	24.7	8.5	3.5	4.3	6.5	4.6	9.9	0.28	0.77
06-17	57	7.6	3.8	4.0	5.9	3.4	5.5	0.30	0.44
07-23	15.7	2.5	1.0	6.3	8.7	4.8	16.6	0.58	1.02

这 4 次二厂取水口位置 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 分别为 4.5、4.6、3.4 和 4.8 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$; TP 分别为 0.59、0.28、0.30、0.58 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$,远远高于雨季时东江东莞段 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、TP 的平均值 1.3 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 0.14 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$.同时,高锰酸盐指数也高于雨季平均值 2.4 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$,5 月 22 日和 7 月 23 日的 DO 接近缺氧状态.这 4 d 水质监测值因运河排涝而恶化,比较接近运河水质.对应 4 d 运河高锰酸盐指数、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、TP 的平均值分别为 7.4、8.3、0.79 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$,和雨季平均值相差不大.

6 月 17 日为暴雨日,运河高锰酸盐指数、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、TP 由于大量雨水的稀释处于较低的水平,虽然排涝量大,但对东江水质影响对比中、大雨时较小,所以排涝的影响与降雨量有很大关系,暴雨日由于大量雨水稀释对东江水质影响不是最大的,反而是中到大雨易造成较大的排涝危害.另外,在 6 月 10 日,上午取样前无降雨,取水口水质没有异常升高,中午降雨后,下午取样时运河水质有改善,取水口水质由于排涝影响异常升高,说明排涝会对取水口水质有直接影响.

虽然东江高锰酸盐指数、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、TP 会受排涝影响而异常升高,但不同水质指标影响程度有所不同.由于运河和东江高锰酸盐指数都较低而且差异较小,因此受排涝影响最小,仍可达到Ⅲ类水质要求;由于运河和东江 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 浓度高,因此东江 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 受排涝影响最大,实测最高值为 4.8

2.2 东莞运河排涝影响分析

由图 3 可看出,东江东莞段 3 个采样点的水质变化基本一致,除二厂取水口位置采样点的高锰酸盐指数、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 和 TP 在其中 4 次采样数据中出现异常高水平,这 4 次采样时间分别为 5 月 22 日、6 月 10 日、6 月 17 日和 7 月 23 日,这和采样前有较大的降雨有关,这 4 d 日降雨量分别为 18.3、24.7、57.0 和 15.7 mm.这 4 次采样前运河开闸排涝,东莞第二水厂取水口水质不达标而停止取水.表 2 为东江取水口和运河这 4 次水质对比.

$\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$,超 V 类水质标准,因此,排涝时东江 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 是受影响最严重的水质指标,在本研究模型计算中将主要模拟排涝时东江河网中 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 的影响程度.

3 东江三角洲河网模型的建立

3.1 模型介绍

CE-QUAL-W2 模型是由美军工程兵团水道试验站和美国 Portland 州立大学开发的横向平均的纵、垂向二维水动力水质模型^[9],可模拟 60 余种水质组分.该模型适合于模拟相对长而窄的水体,已应用于河流、湖泊、水库、河口及各种联合水体^[10~15].模型控制方程, x -和 z -动量方程、连续性方程、状态方程、自由表面方程和浓度组分迁移方程如下^[9]:

$$\frac{\partial UB}{\partial t} + \frac{\partial UUB}{\partial x} + \frac{\partial WUB}{\partial z} = gB\sin\alpha + g\cos\alpha B \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{g\cos\alpha B}{\rho} \int_{\eta}^z \frac{\partial \rho}{\partial x} dz + \frac{1}{\rho} \frac{\partial B\tau_{xx}}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial B\tau_{xz}}{\partial z} + qBU_x \quad (1)$$

$$0 = g\cos\alpha - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} \quad (2)$$

$$\frac{\partial UB}{\partial x} + \frac{\partial WB}{\partial z} = qB \quad (3)$$

$$\rho = f(T_w, \Phi_{TDS}, \Phi_{ss}) \quad (4)$$

$$B_{\eta} \frac{\partial \eta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \int_{\eta}^h UB dz - \int_{\eta}^h qB dz \quad (5)$$

$$\frac{\partial B\Phi}{\partial t} + \frac{\partial UB\Phi}{\partial x} + \frac{\partial WB\Phi}{\partial z} - \frac{\partial(BD_x \frac{\partial \Phi}{\partial x})}{\partial x} - \frac{\partial(BD_z \frac{\partial \Phi}{\partial z})}{\partial z} = q_\phi B + S_\phi B \quad (6)$$

式中, U 为纵向流速 ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$); W 为垂向流速 ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$); B 为河宽 (m); P 为压力, τ_{xx} 、 τ_{xz} 分别为 x 和 z 方向水平平均剪切应力, ρ 为密度, η 为水面, α 为河道与纵向间的夹角, 河道坡降 $S_0 = \tan\alpha$, Φ 为横向平均组分浓度 ($\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$); D_x 为水质组分扩散系数 ($\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$); D_z 为扩散系数 ($\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$); q_ϕ 为单位体积内横向入流或出流处质量流速 [$\text{g}\cdot(\text{m}^3\cdot\text{s})^{-1}$]; S_ϕ 为横向平均源或汇 [$\text{g}\cdot(\text{m}^3\cdot\text{s})^{-1}$].

3.2 东江河网模型计算范围及参数选取

本研究采用 CE-QUAL-W2 模型建立东江三角洲河网区的水动力水质模型, 上游边界设置在博罗水文站, 下边界设置在大盛、麻涌、漳澎、泗盛围这 4 个入海口处 (见图 1), 模型共包含 13 条支流, 427 个模拟单元, 垂向分为 17 层. 上下游均为水位边界, 由广东省水文局提供实测数据, 水质主要模拟氨氮的变化, 采用实测数据. 参考胡嘉镗等^[3] 研究珠江三角洲河网, 糙率选取 0.010 ~ 0.045, 曾凡棠等^[16] 取珠江三角洲潮汐河网糙率为 0.01 ~ 0.04, 本研究取东江河网糙率为 0.01 ~ 0.04.

3.3 模型的验证

模型模拟时段内, 只有石龙水位站有实测水位数据可供验证, 图 4 为石龙站 2010 年 7 月 10 ~ 14 日水位验证结果, 模拟结果与实测数据吻合较好, 高、低潮位平均误差 0.16 m 和 0.09 m, 相位差 0.5 h 以内. 图 5 为 7 月 10 日水质模拟的验证结果, 3 个采样点 NH_4^+-N 的平均误差分别为 0.25、0.1 和 0.046 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 模拟值与实测值比较一致, 基本反映 NH_4^+-N 的变化. 河网模型总体上能较好地模拟东江三角洲河网区的水动力水质变化情况, 可用于运河

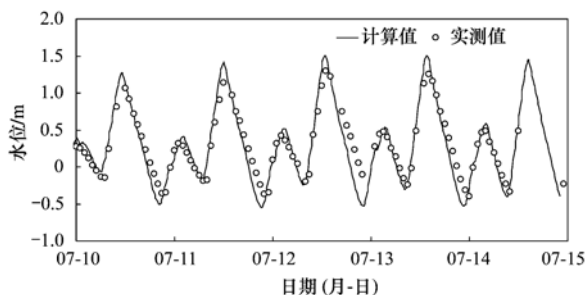


图 4 石龙处模拟与实测水位比较

Fig. 4 Validation of the water level process at the Shilong station

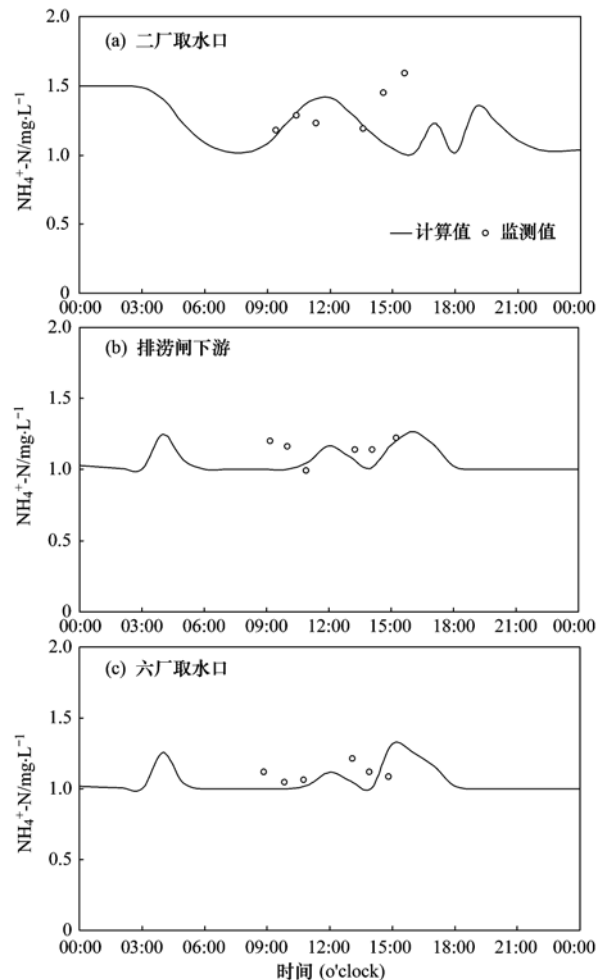


图 5 模拟与实测 NH_4^+-N 比较

Fig. 5 Validation of the NH_4^+-N process

排涝方案计算.

4 排涝方案模拟分析

4.1 排涝流量的计算

平底水闸具有和宽顶堰水流相同的特点, 计算运河排涝流量可采用以下宽顶堰流量计算公式:

$$Q = mB \sqrt{2g} H_0^{3/2} \quad (7)$$

式中, m 为流量系数; H_0 为堰上总水头 (m); B 为溢流宽度 (m); g 为重力加速度 ($\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$). 运河闸宽 40 m, 宽顶堰的流量系数最大值为 0.385, 堰高为 0 时流量系数为 0.385, 故排涝流量计算时系数取为 0.385^[17].

运河排涝水位为 3.00 m, 根据河网模型计算水闸附近的水位, 则可计算排涝流量. 计算方案考察水闸附近高、中、低水位不同水文条件下排涝时对东江水质的影响. 高、中、低水位时排涝 1 h 对应的平均排涝流量根据式 (7) 计算分别为 162.8、302.4、

$485.8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. 计算方案时,由于排涝闸距离上下游边界较远,忽略排涝对上下游边界的影响.

4.2 计算方案模拟结果分析

根据监测结果,河网 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 的初始浓度设置为 $1.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,中到大雨情况下运河排涝时 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 浓度为 $10.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$. 高、中、低水位这3种不同水文条件下排涝时污染带变化趋势见图6~9.

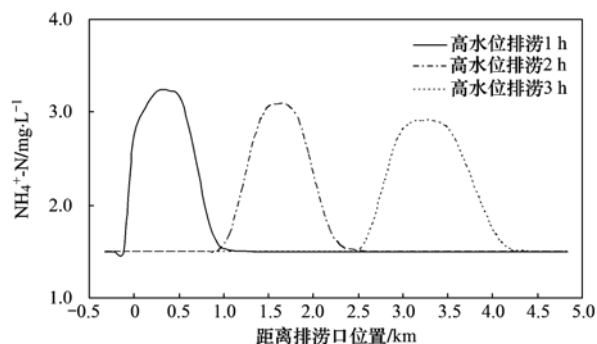


图6 高水位排涝后1、2、3 h后污染带分布

Fig. 6 Pollutant zone of 1, 2, 3 h after drainage at high water level

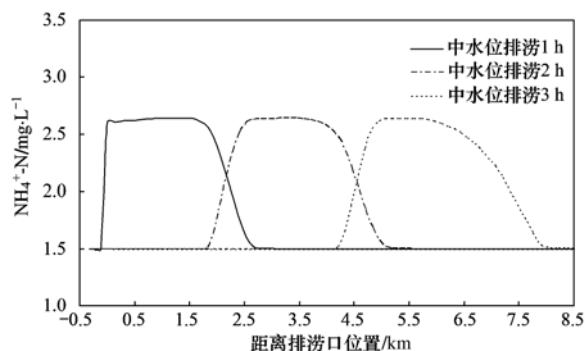


图7 中水位排涝后1、2、3 h后污染带分布

Fig. 7 Pollutant zone of 1, 2, 3 h after drainage at median water level

高水位排涝1 h后形成的污染带最短(见图6),长度为1 460 m,影响范围较小,但浓度值很高,最高浓度为 $3.2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$; 2、3 h后污染带长度扩大为1 727 m和2 042 m,浓度最大值逐渐降低为 $3.1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $2.9 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$. 高水位排涝由于排涝流量小,东江流速也小,排出的污染物集中,所以形成一个浓度较高却影响范围小的污染带,历时6 h后进入东江河网区. 但高水位排涝流量很小,平均仅为 $162.8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$,不利于洪涝的排出.

中水位排涝1 h后形成的污染带较长(见图7),长度2 940 m,影响范围广,但是污染物浓度低且较为平均,为 $2.6 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$. 2、3 h后污染带长度扩大为3 624 m和4 171 m,浓度最大值仍接近 $2.6 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$. 由于中水位排涝时,落潮流速大,排涝后5 h

后污染带就进入东江河网区,污染物均匀扩散,形成一个影响范围广分布均匀的污染带. 污染带会受到涨潮的影响而回荡,但主要河段受到的影响很小,河网区上游污染带回荡浓度在 $1.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 左右.

低水位排涝1 h后形成的污染带略小于中水位为2 664 m(见图8). 污染带浓度高,最高为 $4.0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$. 排涝后排涝位置污染物浓度迅速上升,污染物浓度由排涝位置向下逐渐变小,2、3 h后污染带长度扩大为3 202 m和3 392 m,浓度最大值降低为 $3.9 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 左右. 低水位排涝1 h后的影响范围略小于中水位排涝,但污染带会受到河段涨潮的影响在主要河段回荡,主要河段污染物出现多个峰值,峰值浓度为 $3.5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 左右(图9),部分河段甚至连续受影响达12 h.

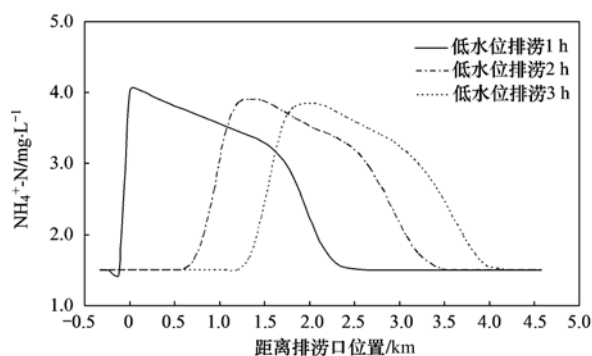


图8 低水位排涝后1、2、3 h后污染带分布

Fig. 8 Pollutant zone of 1, 2, 3 h after drainage at the low water level

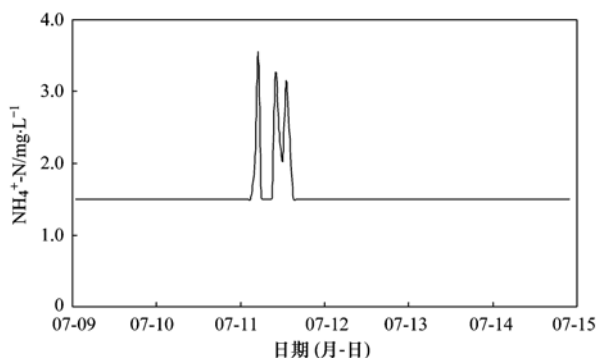


图9 低水位排涝时二厂取水口附近 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 变化

Fig. 9 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ process of the sampling site at the 2nd water plant after drainage at the low water level

表3对比了3种排涝方式的排涝流量和所形成污染带的特点. 3种不同水文条件下排涝所形成的污染带,高水位排涝1 h后形成污染带最短1 460 m,最高浓度值较高为 $3.2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,排涝流量很小,平均仅为 $162.8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$,不利于洪涝的排出;中水位排涝1 h后污染带最长2 940 m,浓度最

低 $2.6\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 排涝影响较小, 排涝流量 $302.4\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ 适用于对东江排涝影响最大的中到大雨时排涝, 排涝流量较大, 可以满足中到大雨的排涝要求; 低水位排涝 1 h 污染带为 $2\,664\text{ m}$, 浓度最高 4

$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ 左右, 排涝对水质的影响较大, 排涝流量大为 $485.8\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$, 对于稀释作用强, 排涝量大的暴雨较为适用. 综合分析, 中水位排涝是较为合适的排涝方式.

表 3 不同水文条件下排涝污染带特点

Table 3 Comparison of pollutant zone when canal drainage under different hydrological conditions

排涝方式	排涝流量/ $\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$	污染带长度/ m	污染带浓度/ $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$	污染带特点
高水位排放	162.8	1 460	3.2	短、浓度高
中水位排放	302.4	2 940	2.6	范围广浓度平均
低水位排放	485.8	2 664	4	长、浓度高受潮汐影响

排涝的同时也要考虑到东江的防洪安全, 因此选择适合的排涝时间, 需要排水部门和供水部门协调, 尽量减少排涝对东江下游防洪和供水安全影响.

5 结论

(1) 东江东莞段旱季 DO 、高锰酸盐指数、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 TP 平均浓度分别为 3.9 、 2.5 、 1.1 、 $0.10\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$; 雨季分别为 6.2 、 2.4 、 1.30 、 $0.14\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 仅满足 IV 类水质要求. 东莞运河旱季 DO 、高锰酸盐指数、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 TP 平均浓度分别为 2.5 、 10.7 、 18.8 、 $1.5\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 雨季分别 3.4 、 7.2 、 9.4 、 $0.69\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 水质基本处于劣 V 类, 雨季由于大量雨水稀释水质有改善.

(2) 东江高锰酸盐指数、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 和 TP 均会受到东莞运河排涝影响, 中到大雨时排涝影响最大, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 是受影响最严重的指标, 实测最大值为 $4.8\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 是限制沿岸水厂取水的主要因素.

(3) 建立了 CE-QUAL-W2 东江河网水动力 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 模型, 模型验证结果较好. 模型考察了高、中、低水位条件下运河排涝对东江水质的影响, 中水位排涝平均流量 $302.4\text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$, 形成的污染带分布均匀, 浓度相对较低 ($2.6\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$), 受涨潮影响较小, 是较为合适的排涝方式.

参考文献:

[1] 姜茜, 毛献忠. 深圳香港海域浪潮耦合模型的建立及其应用[J]. 海洋学报, 2010, 32(6): 56-63.

[2] 韩龙喜, 计红, 陆永军, 等. 河道采沙对珠江三角洲水情及水环境影响分析[J]. 水科学进展, 2005, 16(5): 685-690.

[3] 胡嘉懿, 李适宇. 珠江三角洲一维盐度与三维斜压耦合模型[J]. 水利学报, 2008, 39(11): 1174-1182.

[4] 王博, 梁志诚, 任斐鹏, 等. 东江干流富营养化评价及区域差异性研究[J]. 环境污染与防治, 2011, 33(6): 15-18.

[5] 刘金铃, 冯新斌, 朱伟, 等. 东江沉积物重金属分布特征及

污染评价[J]. 生态学杂志, 2011, 30(5): 981-986.

[6] 卢薇. 东莞市水环境现状分析及治理对策研究[D]. 广州: 中国科学院广州地球化学研究所, 2005. 10-30.

[7] 梁锦发. 东莞运河污染状况分析与整治对策研究[D]. 广州: 暨南大学, 2008. 1-8.

[8] 杨清书, 麦碧娴, 傅家谟, 等. 珠江干流河口水体有机氯农药的时空分布特征[J]. 环境科学, 2004, 25(2): 150-156.

[9] Cole T M, Wells S A. CE-QUAL-W2: A tow-dimensional laterally averaged hydrodynamic and water quality model version 3.6 user manual[R]. Washington, DC, 2008. A20-A50.

[10] Bowen J D, Hieronymus J W. A CE-QUAL-W2 model of Neuse Estuary for total maximum daily load development[J]. Journal of Water Resources Planning and Management -ASCE, 2003, 129(4): 283-294.

[11] Kurup R G, Hamilton D P, Phillips R L. Comparison of two 2-dimensional, laterally averaged hydrodynamic model applications to the Swan River Estuary[J]. Mathematics and Computers in Simulation, 2000, 51(6): 627-638.

[12] Deliman P N, Gerald J A. Application of the two-dimensional hydrothermal and water quality model, CE-QUAL-W2, to the Chesapeake Bay-Conowingo Reservoir[J]. Lake and Reservoir Management, 2002, 18(1): 10-19.

[13] Yu S J, Lee J Y, Ha S R. Effect of a seasonal diffuse pollution migration on natural organic matter behavior in a stratified dam reservoir[J]. Journal of Environmental Sciences, 2010, 22(6): 908-914.

[14] Zahed F, Etemad-Shahidi A, Jabbari E. Modeling of salinity intrusion under different hydrological conditions in the Arvand River Estuary[J]. Canadian Journal of Civil Engineering, 2008, 35(12): 1476-1480.

[15] Lee H S, Chung S W, Choi J K, et al. Feasibility of curtain weir installation for water quality management in Daecheong Reservoir[J]. Desalination and Water Treatment, 2010, 19(1-3): 164-172.

[16] 曾凡棠, 黄水祥. 珠江三角洲潮汐河网水环境数学模型评述[J]. 海洋环境科学, 2000, 19(4): 46-50.

[17] 赵振兴, 何建京. 水力学[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005. 259-262.

CONTENTS

Using Look-up Table Method in the Simulation of Regional Atmospheric Environment	XIE Min, WANG Ti-jian, JIANG Fei, <i>et al.</i> (1409)
Applications of Pollutants Released from Crop Residues at Open Burning in Yangtze River Delta Region in Air Quality Model	SU Ji-feng, ZHU Bin, KANG Han-qing, <i>et al.</i> (1418)
Atmospheric Dry Deposition Flux and Sources of Monocarboxylic Acids in Beijing and Surrounding Cities	XU Xiao-juan, LI Xing-ru, WANG Yue-si, <i>et al.</i> (1425)
Comparison of Physicochemical Characterization of Shanghai Ambient Ultrafine Particles and Engineered Nano Particles and Their Cytotoxicity	ZHANG Rui, LÜ Sen-lin, SHANG Yu, <i>et al.</i> (1431)
Element Compositions and Source of PM _{2.5} Aerosols in Qingdao	LI Xiu-zhen, SHENG Li-fang, XU Hua, <i>et al.</i> (1438)
Phthalate Esters Pollution in Household Indoor Air Particles of Tianjin in Winter	WANG Fu-mei, CHEN Li, JIAO Jiao, <i>et al.</i> (1446)
Application of a Resuspension Test Chamber in PM _{2.5} Source Profile Analysis	DUAN Heng-yi, QIAN Ran-ran, WU Shui-ping, <i>et al.</i> (1452)
Distribution and Enrichment of Trace Elements in Coal Combustion Products from Southwestern Guizhou	WEI Xiao-fei, ZHANG Guo-ping, LI Ling, <i>et al.</i> (1457)
Air-Water Surface Greenhouse Gas Flux in Pengxi River at Different Operational Stages of the Three Gorges Reservoir	JIANG Tao, GUO Jing-song, LI Zhe, <i>et al.</i> (1463)
Fluxes of Greenhouse Gases from Xiangxi River in Summer and Their Influencing Factors	WANG Liang, XIAO Shang-bin, LIU De-fu, <i>et al.</i> (1471)
Effects of Elevated Ozone Concentration and Soil Moisture on Temperature Sensitivity of Soil Microbial Respiration in a Cropland	CHEN Shu-tao, ZHANG Yong, HU Zheng-hua, <i>et al.</i> (1476)
Hydrochemical Characteristics in the Glacier No. 72 of Qinghingan, Tomur Peak	ZHAO Ai-fang, ZHANG Ming-jun, LI Zhong-qin, <i>et al.</i> (1484)
Mineralization Characteristics of Dissolved Organic Phosphorus in Wudalianchi Lake, China	ZHANG Bin, XI Bei-dou, ZHAO Yue, <i>et al.</i> (1491)
Speciation Distribution of Nitrogen in Sediments of 7 Rivers around Taihu Lake	LU Shao-yong, YUAN Ye, JIN Xiang-can, <i>et al.</i> (1497)
Distribution and Bioavailability of Nitrogen and Phosphorus Species in the Sediments from Shiwuli Stream in Lake Chaohu	LI Ru-zhong, LI Feng, ZHOU Ai-jia, <i>et al.</i> (1503)
Surface Water Quality of Beiyun Rivers Basin and the Analysis of Acting Factors for the Recent Ten Years	GUO Jing, JING Hong-wei, LI Jin-xiang, <i>et al.</i> (1511)
Water Quality Impact of Dongjiang River Network Caused by Dongguan Canal Drainage	SUN Lei, MAO Xian-zhong, HUANG Min-min (1519)
Groundwater Pollution Sources Identification and Grading in Beijing Plain	LU Yan, HE Jiang-tao, WANG Jun-jie, <i>et al.</i> (1526)
3D Numerical Simulation of Air Sparging Remediation Process	LI Heng-zhen, HU Li-ming, WANG Jian, <i>et al.</i> (1532)
Numerical Experiment Study on the Algae Suppression Effect of Vertical Hydrodynamic Mixers	ZOU Rui, ZHOU Jing, SUN Yong-jian, <i>et al.</i> (1540)
Microbial Mechanism of Pollutants Removal in New Biological Island Grid	GAO Ming-yu, XIE Hui-jun, WANG Wen-xing (1550)
Effect of Nutrition Level of Phosphorus and Nitrogen on the Metabolism of the Extracellular Organic Matter of <i>Nostoc flagelliforme</i>	QI Fei, LIU Xiao-yuan, XU Bing-bing, <i>et al.</i> (1556)
Inhibitory Effects of Liquor Cultured with <i>Hydrodictyon reticulatum</i> on the Growth of <i>Microcystis aeruginosa</i>	FU Hai-yan, CHAI Tian, ZHAO Kun, <i>et al.</i> (1564)
Removal and Distribution of Phthalate Acid Esters in <i>Potamogeton crispus</i> L. Microcosm of Haihe River	CHI Jie, YANG Qing (1570)
Control and Removal of Microcystin Production of <i>Microcystis aeruginosa</i> by Irradiation of Electron Beam	LIU Shu-yu, WU Ming-hong, JIANG Qin-peng (1575)
Source Characteristics Analysis of Discharge and Pollutants in Typical Drainage Ditch of Qingtongxia Irrigation District	LI Qiang-kun, HU Ya-wei, LUO Liang-guo (1579)
Degradation of TBBPA by Electron Beam Radiolysis	LI Jie, XU Dian-dou, XU Gang, <i>et al.</i> (1587)
Catalytic Ozonation of Ibuprofen in Aqueous Solution by Activated Carbon Made from Sludge and Corn Cob	WANG Hong-juan, QI Fei, FENG Li, <i>et al.</i> (1591)
Effect of High Hydraulic Loading on Intensive Shrimp Aquaculture Wastewater Treatment Performance in Constructed Wetland	LI Huai-zheng, ZHANG Xing-yi, CHEN Wei-bing, <i>et al.</i> (1597)
Factors Influencing the Formation of NDMA During Chloramination Disinfection of Effluent from Biological Nitrogen Removal System for the Treatment of Municipal Sewage	SHANG Xiao-ling, LI Yong-mei (1604)
Denitrification Using Starch/PCL Blends as Solid Carbon Source	SHEN Zhi-qiang, WU Wei-zhong, YANG Chun-ping, <i>et al.</i> (1609)
Profiles of Zeta Potential and EPS in Granulation Process of Aerobic Sludge	WANG Hao-yu, SU Ben-sheng, HUANG Dan, <i>et al.</i> (1614)
Biosorption Characteristics of f2 Bacteriophage onto Activated Sludge	ZHOU Yu-fen, ZHENG Xiang, LEI Yang, <i>et al.</i> (1621)
Adsorption of Anionic Polyacrylamide on the Surface of Ion Exchange Membranes	DENG Meng-jie, YU Shui-li, SHI Wen-xin, <i>et al.</i> (1625)
Adsorption of Amphoteric Modified Bentonites to Phenol and Its Thermodynamics	LI Ting, MENG Zhao-fu, ZHANG Bin (1632)
Effect of Surfactants on Sorption and Desorption of Benzo[a]pyrene onto Black Carbon	ZHANG Jing-huan, CHEN Chun-rong, ZHANG Wei-hang, <i>et al.</i> (1639)
Isolation and Identification of Bacteria in the Activated Sludge from Four Sewage Treatment Plants in Nanjing City and Its Antibiotic Resistance Analysis	GE Feng, GUO Kun, ZHOU Guang-can, <i>et al.</i> (1646)
Screening and Characterization of Phenol Degrading Bacteria for the Coking Wastewater Treatment	CHEN Chun, LI Wen-ying, WU Jing-wen, <i>et al.</i> (1652)
Characteristics of 1,4-Dioxane Degradation by <i>Xanthobacter flavus</i> DT8	JIN Xiao-jun, CHEN Dong-zhi, ZHU Run-ye, <i>et al.</i> (1657)
Spatial Quantitative Distribution of Hydrocarbon-Oxidizing Bacteria of Unexploited Oil and Gas Fields	MAN Peng, QI Hong-yan, HU Qing, <i>et al.</i> (1663)
Screening and Biological Characteristics of Amphitrophic Methane-Oxidizing Bacteria from Aged-Refuse	ZHAO Tian-tao, XIANG Jin-xin, ZHANG Li-jie, <i>et al.</i> (1670)
Distribution Characteristics and Potential Risk of PCBs in Surface Water from 22 Tributaries and Mainstream in Middle Reaches of Yangtze River	LI Kun, ZHAO Gao-feng, ZHOU Huai-dong, <i>et al.</i> (1676)
Pollution Characteristics and Potential Risks of Phenolic Compounds in Schistosomiasis Epidemic Areas	WU Zheng-yong, ZHAO Gao-feng, ZHOU Huai-dong, <i>et al.</i> (1682)
Spatial Heterogeneity and Autocorrelation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Sediment of Minjiang River in Fuzhou City	CHEN Wei-feng, NI Jin-zhi, YANG Hong-yu, <i>et al.</i> (1687)
Heavy Metals Pollution and Its Potential Ecological Risk of the Sediments in Three Gorges Reservoir During Its Impounding Period	WANG Jian-kang, GAO Bo, ZHOU Huai-dong, <i>et al.</i> (1693)
Investigation on the Distribution and Potential Ecological Risk of Heavy Metal in the Sediments from Typical Electrical Industrial Zone	DENG Dai-yong, SUN Guo-ping, GUO Ju, <i>et al.</i> (1700)
Fraction Distribution and Risk Assessment of Heavy Metals in Iron and Gold Mine Soil of Miyun Reservoir Upstream	GAO Yan-xin, FENG Jin-guo, TANG Lei, <i>et al.</i> (1707)
Heavy Metal Contamination and Bioavailability in Huayuan Manganese and Lead/Zinc Mineland, Xiangxi	YANG Sheng-xiang, YUAN Zhi-zhong, LI Zhao-yang, <i>et al.</i> (1718)
Evaluation of Heavy Metal Pollution in Soils from a Training Ground Based on GIS	LIU Yu-tong, FANG Zhen-dong, YANG Qin, <i>et al.</i> (1725)
Effects of Soil Texture and Water Content on Remediation of SVE on Soils Contaminated by Benzene	LIU Shao-qing, JIANG Lin, YAO Yu-jun, <i>et al.</i> (1731)
Characteristics of DNA Adsorption and Desorption in Montmorillonite, Kaoline and Goethite	WANG Shen-yang, RAO Wei, WANG Dai-zhang, <i>et al.</i> (1736)
LNAPL Migration Monitoring in Simulated Sand Aquifer Using Resistivity Method	PAN Yu-ying, JIA Yong-gang, GUO Lei, <i>et al.</i> (1744)
Preparation and Characterization of Activated Carbon from Rice Straw Pre-treated by the Subcritical Hydrolysis	DONG Yu, SHEN Zhe-min, LEI Yang-ming, <i>et al.</i> (1753)
Study on Composting of Cyanobacteria Amended with Different N Loss Inhibitor	REN Yun, CUI Chun-hong, LIU Fen-wu, <i>et al.</i> (1760)
Research Progress About Bioremediation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons Contaminated Soil with Immobilized Microorganism Technique	QIAN Lin-bo, YUAN Miao-xin, CHEN Bao-liang (1767)

《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)

2012年5月15日 33卷 第5期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 33 No. 5 May 15, 2012

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: 70.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行人