

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 PM₁₀ 中有机酸源谱特征分析 杨冰玉,黄星星,郑桢,刘碧莲,吴水正(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 SO₂ 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)

湘江沉积物镉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 *Marinobacter adhaerens* 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 TiO₂ 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)

污水厂微孔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 N₂O 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镉的吸附特性与离子交换 白洁琼,尹华,叶锦韶,彭辉,唐立栉,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 千志勇,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,李振高,黄玉娟(302)

无定形 Fe(OH)₃ 和 Fe₃O₄ 共沉淀态 As 的化学提取 陈义萍,王少锋,贾永锋(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)

人工湿地在应用中存在的问题及解决措施

黄锦楼¹, 陈琴^{1,2}, 许连煌^{1,3}

(1. 中国科学院生态环境研究中心城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085; 2. 贵州大学资源与环境工程学院, 贵阳 550025; 3. 武夷学院环境与建筑工程系, 武夷山 354300)

摘要: 人工湿地是近几十年发展起来的一种污水生态处理工程技术, 它将污水处理和环境生态有机地结合起来, 在有效处理污水的同时也美化了环境, 创造了生态景观, 带来了环境效益和一定的经济效益. 人工湿地自发展以来, 以其独特的优势广受人们关注, 并广泛应用于处理生活污水、工业废水、矿山及石油开采废水等. 但是人工湿地在实际应用过程中也暴露出了很多问题, 如易受气候条件和温度的影响, 基质易饱和和易堵塞, 易受植物种类影响, 占地面积较大, 管理不合理, 设计不规范, 生态服务功能单一等, 这些问题在一定程度上影响了人工湿地对污水的处理效果, 缩短了人工湿地的使用寿命, 阻碍了人工湿地的推广应用. 针对目前人工湿地在应用中存在的这些问题提出了相应的解决措施, 提高人工湿地对污水的处理效果, 期望能够为人工湿地的应用及推广提供参考.

关键词: 人工湿地; 应用; 主要问题; 基质堵塞; 解决措施; 管理

中图分类号: X703 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2013)01-0401-08

Problems and Countermeasures in the Application of Constructed Wetlands

HUANG Jin-lou¹, CHEN Qin^{1,2}, XU Lian-huang^{1,3}

(1. Key Laboratory of System Ecology Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China; 2. College of Resource and Environmental Engineering, Guizhou University, Guiyang 550025, China; 3. Academy of Environment and Architecture, Wuyi University, Wuyishan 354300, China)

Abstract: Constructed wetlands as a wastewater eco-treatment technology are developed in recent decades. It combines sewage treatment with the eco-environment in an efficient way. It treats the sewage effectively, and meanwhile beautifies the environment, creates ecological landscape, and brings benefits to the environment and economics. The unique advantages of constructed wetlands have attracted intensive attention since developed. Constructed wetlands are widely used in treatment of domestic sewage, industrial wastewater, and wastewater from mining and petroleum production. However, many problems are found in the practical application of constructed wetland, e. g. they are vulnerable to changes in climatic conditions and temperature, their substrates are easily saturated and plugged, they are readily affected by plant species, they often occupy large areas, and there are other problems including irrational management, non-standard design, and a single function of ecological service. These problems to a certain extent influence the efficiency of constructed wetlands in wastewater treatment, shorten the life of the artificial wetland, and hinder the application of artificial wetland. The review presents correlation analysis and countermeasures for these problems, in order to improve the efficiency of constructed wetland in wastewater treatment, and provide reference for the application and promotion of artificial wetland.

Key words: constructed wetlands; application; main problem; substrate plugging; countermeasures; management

人工湿地是由天然湿地发展而来, 通过模拟天然湿地的结构与功能, 选择一定的地理位置与地形, 根据人们的需要人为设计与建造的湿地生态系统^[1]. 作为一种污水生态处理工程新技术, 人工湿地利用自然生态系统中的物理、化学和生物的三重协同作用来实现对污水的净化作用, 使水质得到改善, 实现对废水的生态化处理^[2].

与传统的污水处理技术相比, 人工湿地污水处理系统具有出水水质稳定、投资低、耗能低、抗冲击力强、操作简单、运行费用低等特点^[3]. 同时, 它将污水处理和环境生态有机地结合起来, 在有效处理污水的同时也美化了环境, 创造了生态景观, 带来了环境效益和一定的经济效益. 人工湿地以其独特

的优势越来越受人们的关注和重视, 并被广泛应用于生活污水^[4-6]、工业废水^[7,8]、农业非点源污染^[9-12]、矿山及石油开采废水^[13-15]等处理中. 但是在应用过程中也暴露了一些缺点, 存在一定的问题, 本研究针对人工湿地在应用过程中存在的问题进行分析并提出相应的解决措施.

1 人工湿地在应用中存在的问题

人工湿地因其独特的优势得到了广泛应用, 但是在应用过程中也暴露出了很多问题, 包括易受气候

收稿日期: 2012-04-14; 修订日期: 2012-08-27

基金项目: 国家自然科学基金项目(71033005)

作者简介: 黄锦楼(1978~), 男, 博士, 副研究员, 主要研究方向为城市生态学, E-mail: jlhuan@rcees.ac.cn

温度影响、占地面积大、基质易堵塞等问题(见表1),这些问题都在一定程度上影响了人工湿地对污水的净化效果,甚至限制了湿地的发展。

1.1 受气候温度影响较大

人工湿地受气候温度条件影响较大,随季节的变化,人工湿地对污染物的去除效果也随之变化。人工湿地中的植物和微生物对温度尤为敏感,如果植物和微生物在湿地中的生长受到影响,将直接影响人工湿地的处理效果。大量研究表明,水温低于10℃时,人工湿地的处理效率会明显下降,且有学者认为^[16],在4℃以下时湿地中的硝化作用趋于停止。同时,在较低温度和氧含量的情况下,微生物活性也会降低,使微生物对有机物的分解能力下降。聂志刚等^[17]研究了季节变化对人工湿地处理效果的影响,结果发现,各人工湿地随季节的变化去除率排序为夏季>秋季>春季>冬季,NH₄⁺-N、高锰酸盐指数变化较大,冬季去除率下降尤为明显。在冬季低温条件下,不仅对人工湿地的去除效果产生影响,同时还存在人工湿地处理工艺脱氮效率低、基质易堵塞、床体缺氧等问题^[18]。由于人工湿地受气候温度条件影响较大,这也是限制人工湿地在寒冷地区推广应用的原因之一。

表1 湿地存在的问题及其影响

湿地存在的问题	造成的影响
受气候影响较大	直接影响湿地的处理效果
占地面积大	尤其在用地紧张的地区,限制湿地的发展
基质易堵塞	影响湿地的寿命及稳定性
易受植物、基质等的影响	影响湿地对污水的净化效果
管理不合理	影响湿地的处理效果,造成堵塞,缩短寿命
设计缺乏规范化	设计不合理,限制其推广
生态服务功能单一	不能完全发挥湿地的生态服务功能

1.2 占地面积大

表2列举了国内外部分人工湿地的占地情况。从中可以看出人工湿地占地面积较大,一般认为人工湿地占地面积大约是传统污水处理工艺的2~3倍左右^[19]。人工湿地净化的机制与特点决定了其需要较大的占地面积,而对于水平流型人工湿地,由于水力负荷小,使得人工湿地需要占用更多的土地,这就制约了人工湿地的发展,尤其是在用地紧张的地区。此外,由于人工湿地中填料和植物的纳污能力有限,基质易达到饱和,因此,还需要有平行湿地交替运行,使得湿地停床休整时有平行湿地轮流运转,保证湿地的运行效果,这就使得利用人工湿地进行污水处理时需要占用更大的土地面积。

表2 国内外人工湿地占地情况

Table 2 Land area of artificial wetlands in different countries and regions

国别	湿地类型	废水类型	占地面积/m ²	文献
美国	自由表面流	市政污水	90 000	[20]
美国	地下潜流	市政污水	18 468	[21]
美国	地下潜流	氧化沟出水	8 910	[21]
美国	地下潜流	市政污水	61 560	[21]
巴西	复合垂直流	生活污水	882	[22]
新西兰	地下潜流	肉类加工废水	54	[23]
英国	地下潜流	牛奶加工废水	250	[24]
加拿大	自由表面流	牛奶加工废水	57.6	[25]
泰国	垂直流	化粪池废水	75	[26]
中国	水平潜流	生活污水	8 400	[27]
中国	自由表面流	农田径流废水	1 146.6	[28]
中国	复合垂直流	城市污水	2 000	[29]

1.3 基质易堵塞

基质在人工湿地中发挥着重要的作用,但是随着污水处理过程的不断运行,湿地中的微生物也相应繁殖,再加上植物的腐败以及基质的吸附能力逐渐趋于饱和,若维护不当,很容易产生淤积、阻塞现象。最早关于人工湿地出现堵塞现象的报道是由Seidel等^[30]建成的Krefeld湿地存在的堵塞和积水现象。在我国的白泥坑、雁田等人工湿地也出现了

不同程度的堵塞现象^[27]。当堵塞现象发生时,它不仅影响到湿地系统的水力负荷,也会影响湿地系统的寿命以及湿地长期运行的稳定性,甚至使湿地系统丧失功能。

1.4 易受植物、基质、水力负荷、运行方式等的影响

植物是人工湿地中重要的组成部分,湿地中的植物不仅可以与基质一起过滤、截流水中悬浮物,还可以吸收水中部分污染物质从而将其去除。另

外,由于植物的存在,可以在湿地系统中形成好氧区域和厌氧区域^[31],有了这些好氧区域和厌氧区域,使其具有良好的脱氮除磷效果。但是人工湿地中植物过度单一或是搭配不合理将对人工湿地的正常发挥产生影响。植物种类单一,其净化污水的能力有限,同时受季节的影响更明显;搭配不合理,植物之间因光、水、营养等环境的竞争,影响植物的生长,同时,有些植物之间通过释放化学物质,影响周围植物的生长,进一步影响对污水的净化效果。

基质是人工湿地的重要组成部分,基质是湿地中的填料骨架,为微生物提供附着表面,同时具有吸附和离子交换等净化作用。湿地基质种类很多,有土壤、砂、砾石、沸石、石灰石、煤渣、陶粒等,不同的基质对污染物的处理效果差异很大,并且不同粒径的基质以及不同的级配方式对污染物的处理效果也不相同。不同基质为植物和微生物提供的生存环境不同,从而影响水处理的效果^[32]。

水力负荷、运行方式等对人工湿地的净化效果也有一定的影响,水力负荷过大,污染负荷过重会缩短水力停留时间,降低湿地对污水的净化效果,严重的还会造成湿地堵塞想象。湿地的运行方式对系统的影响也是不容忽视的,宋铁红等^[33]研究了人工湿地在间歇流、连续流进水方式下处理生活污水的效率,结果表明,间歇流进水能够提高床体内的含氧量,缓解植物根系放氧不足。提高了污染物去除率。

因此,建立人工湿地水处理单元时应充分考虑各个影响因素,争取有效地降低这些因素的影响,充分发挥人工湿地对污水的净化功能。

1.5 管理不合理

人工湿地工程在运行过程中还存在着管理上的问题,随着人工湿地的运行,很多枯枝落叶就会落到人工湿地表面,若不及时的清理掉这些枯枝落叶,会影响人工湿地的处理效果,甚至会造成人工湿地的堵塞。某些植物的枯枝落叶经水淋或微生物的作用释放出克生物质,抑制植物自身的生长,如宽叶香蒲枯枝落叶腐烂后阻碍其自身新芽的萌发和新苗的生长^[34];同时植物还可能通过释放化学物质,促进或抑制周边植物的生长,Szczepański^[35]报道了宽叶香蒲、水葱、木贼、苔草等植物体腐烂产生的化感物质对芦苇生长、繁殖具有抑制作用。因此,要加强对湿地植物的管理。但是目前对湿地的管理力度还不够,很多地方缺乏管理理念,认为人工湿地后期的维护管理不重要,导致人工湿地在运行一段时间后污水处理能力下降,失去了人工湿地原有的应用价

值,缩短了人工湿地的使用寿命。

1.6 设计缺乏规范化

人工湿地是一个涉及生物学、水力学、水文学和水化学的复杂生态系统,然而,其系统的设计多建立在统计数据和经验公式的基础上,缺少关于大规模人工湿地充分详细的高质量数据,目前,对人工湿地的设计仍然是建立在一定假设条件和忽略某些影响因素的基础上,导致了参数的不确定性。目前国内只有一套《人工湿地污水处理工程技术规范》(征求意见稿),还没有一部国家正式承认的湿地设计手册,也没有与之相关的标准,更没有推导出单项的设计指标、简要的工程参数等。如在利用人工湿地处理生活污水时,人们往往选择 BOD_5 作为人工湿地的特征污染物进行人工湿地设计,但是在利用人工湿地处理工业废水、农田排水等其他污水时,还是选用 BOD_5 作为特征污染物进行人工湿地设计,导致了人工湿地的设计不合理,同时在人工湿地设计过程中也出现各种公式滥用甚至混用的现象,这些因缺乏人工湿地设计规范,很大程度上阻碍了人工湿地的推广应用。

1.7 生态服务功能单一

根据 Costanza 等^[36]对生态系统服务的划分原则,湿地生态系统服务的内涵可分为 5 类:①提供产品;②防洪减灾;③调节作用;④保护生物多样性;⑤社会文化载体。人工湿地能够净化污水,还能吸收 CO_2 释放 O_2 ,调节微气候,阻滞沙尘,清新空气,降低噪声,杀灭病菌,从而为人们提供更舒适的生活环境和休闲娱乐场所,同时还具有很高的文化科研功能。但是在实际应用过程中,人工湿地并没有表现出如此丰富的生态服务功能,相对来说比较单一,在工程应用上湿地植物的种类少,且基本属于水生草本,造成湿地结构单一的问题^[37],同时植物的景观价值较低,相比于传统的污水处理技术,景观生态价值是人工湿地的优势之一,湿地具有生物栖息地的生态价值,但是景观价值的增加可能会提高湿地的成本,因此,在人工湿地的设计中,投资者就削弱了其相比于传统污水处理技术的优势。同时在冬季的时候大部分植物一般会出现地上部枯死的现象,还因为管理者的定期收割植物,都使人工湿地丧失了一定的景观价值。同时,由于植物的收割或干枯,影响微生物活性,降低了冬季人工湿地污水处理效果。

2 解决措施

人工湿地中在运行中存在很多问题,本研究针

对以上提出的 7 个问题,提出了相关的解决措施,以期为人工湿地的运行与推广提供参考。

2.1 人工湿地的保温措施

低温对人工湿地造成了不利的影 响,为了保证人工湿地的运行效果,国内外学者研究了各种保温措施,通过保温,减缓了植物休眠,促进了人工湿地对污染物的去除效果。

2.1.1 选择合适的湿地类型

按系统布水方式,人工湿地可分为表面流和潜流两种,在低温条件下,表面流人工湿地污水在表面流动,保温能力较差,水温降低易对微生物数量和活性造成影响^[38],表面冰层使大气复氧能力下降,导致运行效果不佳。而潜流型人工湿地则具有一定的优势,潜流型湿地与大气之间有覆盖层隔断,在冬季对污水在床体中的保温效果较好^[39]。同时,潜流型人工湿地在处理过程中被表层土覆盖,可减少因污水蒸发蒸腾和流动造成的能量损失^[40]。刘学燕等^[41]开展了潜流人工湿地系统处理官厅水库水的冬季实验研究,结果表明,潜流人工湿地系统在隔离层保护下可以正常运行,并且,潜流人工湿地在冬季寒冷低温条件下对微污染地表水有较好的净化效果。因此,相对于其他湿地而言,潜流人工湿地在冬季或北方寒冷地区使用更具有优势,而在寒冷地区人工湿地的应用研究中大多数也都采用潜流型。

2.1.2 设计覆盖层

覆盖物在整个湿地保温中起到隔离作用,有效的隔离可以提高湿地的污水处理效率。华莱士等^[42]认为,好的覆盖材料应具有以下特性:能完全分解而不影响系统正常运行; pH 为中性; 结构蓬松,纤维含量高,隔热性好; 易使种子在覆盖物上生长; 有较好的湿气涵养能力。非理想的覆盖材料不利于植物的生长,导致植物根渗水困难,另外,非理想的覆盖物还会降低处理效果。目前对于覆盖层有植物覆盖、地膜覆盖等,各种覆盖方法都有它们的优缺点(见表 3),但是在应用过程中要综合可虑各方面因素,选择合适的覆盖方法以预防低温对湿地造成不利影响。

(1) 植物覆盖

目前的植物覆盖材料包括直接将实地表面枯萎

植物收割进行实地均匀覆盖,也可以选择其他的植物,如稻草、麦秆、炭化后的芦苇屑等。李亚峰等^[43]采用炭化后的芦苇屑对沈阳某人工湿地进行保温后,湿地可以正常运行,出水效果良好。张显龙等^[39]在沈阳冬季将湿地植物芦苇、美人蕉、灯心草等收割铺在湿地表面,再在上面覆盖一层薄膜,填料床内被处理的污水水温可以保持在 15~18℃。当塑料薄膜上有比较厚的积雪时,更能使湿地内水温有所提高。此方法对表面流、潜流湿地都有很好的保温效果。植物覆盖操作较为简单,但植物腐烂会释放出一定量的污染物,有可能造成二次污染,因此必须在第二年开春前将覆盖植物清除。此外植物的枯叶会随风飘扬,可能会影响周围的卫生环境。

(2) 地膜覆盖

地膜覆盖是根据农业种植中的地膜技术发展来的,将其用作湿地的保温措施。张建等^[44]在湿地表面覆盖塑料地膜,发现覆盖地膜后能有效地提高系统对污染物的去除效果,氨氮平均去除率由 29.4% 上升到 67.6%, COD 的平均去除率由 29.0% 提高到 46.6%, 同时,覆盖地膜后系统温度的升高能提高系统中微生物的活性。维维国等^[45]通过在人工湿地的植物表面覆盖多层 PVC 透气薄膜,有效提高湿地内温度,防止了结冰并减缓了植物休眠,提高了湿地的脱氮效果。地膜覆盖法其覆盖膜易破、铺设操作较为复杂、投资较高,且来年必须清理并妥善处理,否则会造成白色污染,难以在野外大面积应用。

(3) 其他覆盖方法

除了以上的覆盖方法,许多学者还研究将两种方法或几种方法结合使用,既提高了污水的温度,也提高了人工湿地对污水的净化能力。刘学燕等^[41]采取 5 cm 空气 + 10 cm 冰层和 5 cm 缝隙 + 15 cm 秸秆对人工湿地进行隔离保护,冬季低温条件下能正常运行,但使用不同的覆盖物进行隔离保温,对系统的处理性能有很大的影响,使用空气层加秸秆等隔离物保护的效果优于空气层加冰层保护的效果。该方法是未来保温措施发展的方向,将几种措施结合起来,可以达到扬长避短,但是在实际应用中也要具体情况具体分析,尽量选择适宜的方法对湿地进行保温,减少气候温度条件对人工湿地的影响。

表 3 各设计覆盖层保温方法优缺点

Table 3 Advantages and disadvantages of different designs of covering layers for holding temperature

设计覆盖层	优点	缺点
植物覆盖	操作简单	可能造成二次污染,影响周边环境卫生,
地膜覆盖	提高了湿地的脱氮效果	投资高,操作复杂,难以在野外大面积应用
其它覆盖方法	扬长避短	具体情况具体分析

2.2 减少占地面积

人工湿地存在占地面积大的问题。据了解,白泥坑人工湿地污水处理场占地 12.6 亩,雁田人工湿地共占地 10 亩,由于自身处理的特殊性,使得人工湿地技术在占地上的问题很难解决。但是可以采取一些适当的措施减少湿地占用土地资源。首先在选址时要综合考虑规模、环境和经济效益,为了不占用市区宝贵的土地资源,可将工程选在市郊区域,这样做还能减轻风沙等对市区的影响和破坏^[8]。另外,可采取组合工艺,如水平流型湿地占用面积大,可以采取将水平流型湿地和其他构型的人工湿地或是其他的污水处理工艺组合,这样既可以减少湿地的占用面积,还可以提高对污水的处理效果。如雷俊山等^[46]研究示范工程中垂直-水平流人工湿地系统对生活污水的净化效果。结果表明,在人工湿地水力停留 3 d 的情况下,垂直-水平流人工湿地系统对 COD、SS、TP 和 TN 均具有明显去除效果。

2.3 湿地堵塞的防治措施

随着人工湿地的日益推广和应用,越来越多的人开始研究堵塞问题,目前常用的预防措施有:对进水进行预处理,选择合适的基质粒径和级配、选择合适的植物和污染负荷、合理的运行方式,以及一些强化措施等。

2.3.1 加强对污水的预处理

预处理可以降低湿地进水中的悬浮物和有机负荷,有效预防人工湿地堵塞的发生。常见的预处理工艺有格栅、厌氧沉淀、混凝沉淀等。加强污水的预处理,主要是为了去除污水中的悬浮物质,以减少悬浮物对系统造成堵塞。对污水进行预处理虽可有效推迟基质堵塞发生的时间,却不能杜绝基质堵塞的发生,并会增大系统的投资、运行成本以及维护管理难度。因此要对投资、运行成本及由此产生的效果进行权衡。

2.3.2 人工湿地的设计

选择合适的湿地植物、基质、水力负荷对于预防基质的堵塞是非常重要的,同时在湿地系统中安装清淤装置或反冲洗装置都有助于改善湿地的堵塞情况。对于人工湿地的基质,在满足出水水质的情况下,应选择粒径大、空隙率高的填料,同时,不同粒径填料之间的配比选择和级配对防止堵塞也十分重要;在选择植物时可考虑选用根际复氧能力强、分泌难降解物质较少的植物作为湿地植物^[47],并根据湿地系统的运行方式适当调整负荷。定期启动湿地内部的清淤系统,及时将有机质沉淀物排出,保

证湿地基质间的空隙,使污水在基质间流态稳定并定期进行反冲洗也可改善人工湿地的堵塞。

2.3.3 合适的运行方式

人工湿地的间歇运行和适当的湿地干化期,会使基质得到休息,保证基质一定的好氧状态,避免胞外聚合物的过度积累,从而防止基质堵塞^[48]。Watson 等^[49]也认为,采用间歇投配污水(即落干和投配交替运行)会使土壤得到“休息”,保证土壤一定的好氧状态,避免胞外聚合物的过度积累,防止土壤堵塞。目前间歇运行方式在我国的许多工程和实验中,得到了重视和应用,同时也取得了一定的效果。

2.3.4 更换基质

大量的研究表明人工湿地中有机物的积累主要发生在表层,而人工湿地的堵塞也主要发生在湿地表层 0~15 cm 处^[50]。因此对于堵塞严重的人工湿地更换湿地表层填料可以改善湿地表层的堵塞,保持人工湿地的稳定运行,但是该方法对大规模的湿地而言工程量较大、更换困难,更换的时候人工湿地需要停床并且更换所花时间长,湿地系统及植物也需要很长时间才能适应,因此在采用该方法时要综合考虑以上有可能带来的问题。

2.3.5 停床休整与轮作

通过停床休整与轮作,一方面可以使大气中的氧进入湿地内部,促进好养微生物的活性,加快降解基质中沉积的有机物;另一方面由于系统停止进水,微生物新陈代谢需要的各种营养物得不到持续的补充,从而抑制微生物的生长。这类措施需要建造多个平行湿地,Cooper^[51]认为在设计湿地时应采用 4 个或更多的平行湿地,轮流运转,因此,在采用这类措施时要考虑系统的投资费用。

2.3.6 投加蚯蚓

通过向已经堵塞的人工湿地中投加合适的蚯蚓可以改善湿地堵塞情况,延长其使用寿命,同时在冬季植物收割后,土壤动物可以起到清扫植物碎屑的作用。采用投加蚯蚓的方法费用低廉,施工维护简单;符合农村社会经济条件,符合生态化处理特点,但这种方法还处于初步研究阶段,实际工程效果还有待进一步验证。

2.4 建立完整的数据库

由于人工湿地受植物和基质种类、污染负荷和运行方式的影响较大,应加强不同种类植物和基质对各类污水中污染物的去除机制研究;目前大型人工湿地工程的运行参数也没有真正的设计、运行和维护规范,基于以上情况,可考虑将正在运行的湿地

系统的处理数据集中起来,建立专门的数据库,在数据库的基础上,利用技术及建模开发更多更实用的人工湿地模拟模型软件,降低各种因素对人工湿地的影响。同时,对已获得模型及参数的人工湿地系统各类要素进行更为系统、全面地描述及科学分类,提高已有模型及其参数的可用性。并结合不同地区的具体情况深入开展人工湿地处理特殊废水的研究工作,取得适合于不同地区、不同环境、不同气候条件及不同特性废水的实用数据库。建立人工湿地数据库,减小建设低效湿地的风险。将模型理论应用到实际中,为人工湿地的广泛应用提供科学的指导。

2.5 加强人工湿地的维护管理

定期对植物进行收割可以减少植物之间因化感作用相互影响或是因植物的枯枝落叶经水淋或微生物的作用释放出克生物质,抑制自身的生长;同时,从审美的角度来看,在每年秋天收割植物后会使得来年春天植物生长更旺盛和美观。

人工湿地植物病虫害也是湿地管理中需要注意的问题。人工湿地作为一个人工生态系统,也会发生病虫害,病虫害的发生对人工湿地的运行效果特别是对植物的产量将会造成较大影响,进而影响湿地对污水的净化效果。但是在使用杀虫剂控制植物病虫害时,所用的杀虫剂不能对人工湿地系统产生影响,否则不仅会降低湿地的处理效果,同时还会造成二次污染。

人工湿地在低温运行时对湿地的管理非常重要,低温对人工湿地造成了不利的影响,采取一定的保温措施,可以减缓植物的休眠,促进人工湿地对污

染物的去除效果。

对人工湿地采取一定预防堵塞的措施和应对措施,对进水进行预处理和定期对湿地进行清淤都可以减少湿地堵塞情况的发生。从现有人工湿地工程的考察发现,清淤不及时导致了大量淤泥沉积,影响湿地的净化效果。

因进水中污染物类型、浓度等的差异会使人工湿地对氮磷的去除率造成较大的影响,保持人工湿地进水水质的稳定是非常重要的。同时,实时监测出水水质,可以保证出水水质达标排放。

定期对人工湿地处理系统进行详细检查,包括进水管是否堵塞,护堤及闸阀是否损坏,湿地是否有渗漏情况等,若出现这些情况,要及时采取相应的应对措施,因为这些情况会造成人工湿地中水位及水量的变化,水位的改变会影响人工湿地处理系统的水力停留时间,同时对大气中的氧向水相扩散造成影响,进而影响人工湿地对污染物的去除效果。

表面流人工湿地易滋生蚊蝇以及因负荷过高形成厌氧而释放出难闻的气体,因此,对于表面流型人工湿地要采取相关措施控制蚊蝇及气味。

在湿地边壁设 15 ~ 20 cm 超高,可以防止外来水进入湿地,通过水位控制装置进行快速排水,可以防止因夏季暴雨而使湿地长期处于水淹状态^[52]。

图 1 为人工湿地管理的内容,其中管理的范围涉及湿地植物、水质的管理还有其他的相关部分的管理。科学的运行管理可以保持人工湿地处理系统对污染物稳定、高效地去除效果,同时适当的管理维护,还可以解决人工湿地可能带来的负面生态问题,充分发挥其美化景观、丰富物种的生态效应。

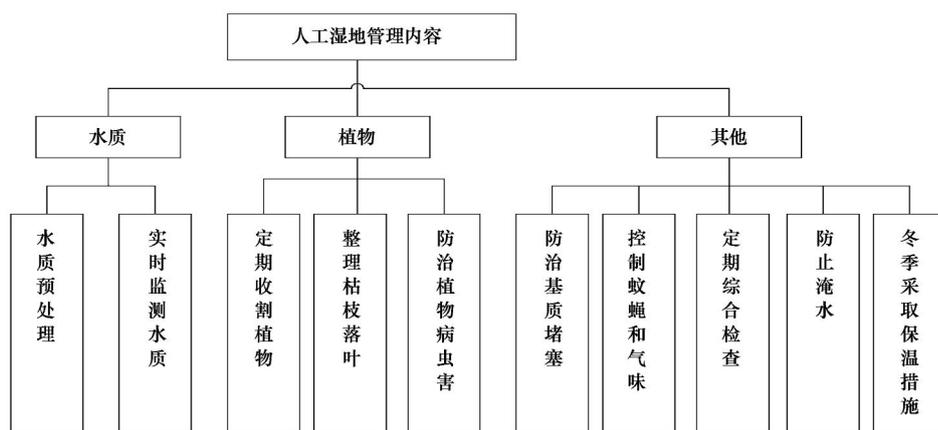


图 1 人工湿地管理内容

Fig. 1 Content of constructed wetland management

2.6 形成一套完整的人工湿地设计方法

人工湿地作为一种生态处理工艺,还没有形成

一套合理的人工湿地设计方法,设计缺乏规范化,想要形成一套合理的人工湿地设计方法,首先必须要

了解其净化机理,确定湿地中基质、植物和微生物的作用,明确其转化过程,综合考虑植物、基质、厂址、进出水装置、防渗层和保温层等各种影响因素,同时将现行人工湿地系统的处理数据集中起来,建立完整的数据库,确定具体的物料平衡方程、反应公式和相关动力学参数,运用软件对模型、参数及方程进行反复的修正和验证,使人工湿地工艺系统的设计方法更为系统和全面。同时,在相关部门的统一领导下,在科研、设计和施工单位共同参与下,编制出一套完整的湿地设计手册,并制定相应的设计规范和标准,推导出单项的设计指标,有利于人工湿地的推广应用。

2.7 湿地生态系统恢复与重建

针对目前人工湿地生态服务功能单一的现状,要采取一定的措施恢复和重建人工湿地生态服务功能。对湿地的恢复和重建方面,美国政府及有关部门引起了足够的重视,给予了极大的支持,做出了巨大的努力,取得了明显的成效。欧洲一些国家也开展了大量水域生态系统回复工作,并取得明显成效。总的看来,发达国家政府和科学家们关注的焦点已迅速从内陆水体生物生产力的开发转移到水环境保护上来。恢复和重建受损湿地已越来越被人们所认识并逐步形成研究的热点。余国营^[53]以湖泊湿地、沼泽和沼泽化湿地为研究对象,提出了湿地生态系统恢复和重建的研究内容为:① 湿地恢复与重建生态学研究方法和技术;② 湿地功能划分及其相应指标体系研究;③ 湿地净化功能与环境容量研究;④ 水产养殖与水环境质量变化的相互关系及优化模式研究;⑤ 湿地营养负荷、循环途径及其与水体富营养化的关系研究;⑥ 湿地生态系统恢复重建生态工程技术开发;⑦ 湿地生态系统恢复重建综合评价体系(指标、方法与规范)。

3 结论

(1)人工湿地堵塞是目前人工湿地在运行中的一个比较棘手也是亟待解决的重要问题,应着重进行人工湿地堵塞机理的研究,寻找能有效解决人工湿地堵塞的方法,同时在人工湿地设计时要充分考虑各种预防堵塞的辅助性措施,延长人工湿地的使用寿命,提高其应用价值。

(2)我国具有丰富的人工湿地资源,应加强我国人工湿地污水处理工程的科学化、规范化管理,充分发挥人工湿地丰富的生态服务功能,使人工湿地在有效处理污水,改善环境的同时,也带来一定的

景观价值和经济价值。

(3)鉴于人工湿地设计的不规范,编制一套适合我国国情、切实可行的人工湿地污水处理工程技术规范,用于指导人工湿地污水处理工程的技术应用和运行管理。同时人工湿地与其它设施的结合也是今后重点解决的问题,只有解决了这些问题,人工湿地的推广应用才能规范健康发展。

(4)人工湿地与传统的污水处理技术相比,的确表现出了很多优越性,但是目前对人工湿地的去除机理还处于“黑箱效应”,还有很多问题没有解决。因此,在推广应用时应慎重,特别是在大面积使用时应充分考虑该技术有可能带来的一系列影响,避免盲目推广。同时也要加强对人工湿地的研究,为人工湿地的应用提供理论参考和技术指导。

参考文献:

- [1] 张虎成,田卫,俞穆清,等. 人工湿地生态系统污水净化研究进展[J]. 环境污染治理技术与设备, 2004, 5(2): 11-15.
- [2] 刘强,李亚峰,程琳. 人工湿地对污染物的净化功能及存在问题[J]. 辽宁化工, 2008, 37(4): 255-257.
- [3] 宋志文,毕学军,曹军. 人工湿地及其在我国小城市污水处理中的应用[J]. 生态学杂志, 2003, 22(3): 74-78.
- [4] 刘超翔,胡洪营,张建,等. 不同深度人工复合生态床处理农村生活污水的比较[J]. 环境科学, 2003, 24(5): 92-96.
- [5] 项学敏,杨洪涛,周集体,等. 人工湿地对城市生活污水的深度净化效果研究: 冬季和夏季对比[J]. 环境科学, 2009, 30(3): 713-719.
- [6] Huang J, Reneau R B, Hagedorn C. Nitrogen removal in constructed wetlands employed to treat domestic wastewater[J]. Water Research, 2000, 34(9): 2582-2588.
- [7] 籍国东,孙铁珩,李顺. 人工湿地及其在工业废水处理中的应用[J]. 应用生态学报, 2002, 13(2): 224-228.
- [8] Comin F A. Nitrogen removal and cycling in restored wetlands used as filters of nutrients for agricultural runoff[J]. Water Science and Technology, 1997, 35(5): 255-261.
- [9] Raisin G W, Mitchell D S. The use of wetlands for the control of non-point source pollution[J]. Water Science and Technology, 1995, 32(3): 177-186.
- [10] Braskerud B C. Factors affecting phosphorus retention in small constructed wetlands treating agricultural non-point source pollution[J]. Ecological Engineering, 2002, 19(1): 41-61.
- [11] Braskerud B C. Factors affecting nitrogen retention in small constructed wetlands treating agricultural non-point source pollution[J]. Ecological Engineering, 2002, 18(3): 351-370.
- [12] Díaz F J, O'Geen A T, Dahlgren R A. Agricultural pollutant removal by constructed wetlands: Implications for water management and design[J]. Agricultural Water Management, 2012, 104: 171-183.
- [13] Mays P A, Edwards G S. Comparison of heavy metal accumulation in a natural wetland and constructed wetlands receiving acid mine drainage[J]. Ecological Engineering, 2001,

- 16(4): 487-500.
- [14] Nyquist J, Greger M. A field study of constructed wetlands for preventing and treating acid mine drainage [J]. *Ecological Engineering*, 2009, **35**(5): 630-642.
- [15] 夏汉平, 柯宏华, 邓利平, 等. 人工湿地处理炼油废水的生态效益研究[J]. *生态学报*, 2003, **23**(7): 1344-1355.
- [16] Cookson W R, Cornforth I S, Rowarth J S. Winter soil temperature (2-15°C) effects on nitrogen transformations in clover green manure amended or unamended soils; a laboratory and field study[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2002, **34**(10): 1401-1415.
- [17] 聂志丹, 年跃刚, 李林峰, 等. 水力负荷及季节变化对人工湿地处理效率的影响[J]. *给水排水*, 2006, **32**(11): 28-31.
- [18] 汪映萍, 张平. 低温污水强化处理工艺研究[A]. 见: 全国建筑给水排水委员会给水分会、热水分会、青年工程师协会联合年会论文集[C]. 2008. 169-175.
- [19] USEPA. Compendium method TO- 11A: determination of formaldehyde in ambient air using adsorbent cartridge followed by high performance liquid chromatography(HPLC)[R]. 1999.
- [20] Gerke R Baker L A, Xu Y. Nitrogen transformations in a wetland receiving lagoon effluent: sequential model and implications for water reuse[J]. *Water Research*, 2001, **35**(16): 3857-3866.
- [21] Office of Water, US. EPA. Subsurface flow constructed wetlands for wastewater treatment-a technology assessment[R]. EPA 832-R-93-008(4204). United States; Office of Water, 1993.
- [22] Farahbakhshazad N, Morrison G M, Filho E S. Nutrient removal in a vertical upflow wetland in Piracicab, Brazil[J]. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 2000, **29**(2): 74-77.
- [23] 李科德, 胡正嘉. 芦苇床系统净化污水的机理[J]. *中国环境科学*, 1995, **15**(2): 140-144.
- [24] 成水平, 夏宜琤. 香蒲、灯芯草人工湿地的研究——II. 净化污水的空间[J]. *湖泊科学*, 1998, **10**(1): 62-66.
- [25] Sérodes J B, Normand D. Phosphorus removal in agricultural wastewater by a recently constructed wetland [J]. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 1999, **26**(3): 305-311.
- [26] Koottatep T, Polprasert C, Oanh N T K, *et al.* Septage dewatering in vertical-flow constructed wetlands located in the tropics[J]. *Water Science and Technology*, 2001, **44**(2-3): 181-188.
- [27] 陈韞真, 叶纪良. 深圳白泥坑、雁田人工湿地污水处理场[J]. *电力环境保护*, 1996, **12**(1): 47-51.
- [28] 刘文祥. 人工湿地在农业面源污染控制中的应用研究[J]. *环境科学研究*, 1997, **10**(4): 15-19.
- [29] 刘全中. 人工湿地系统水质净化技术的工艺技术[J]. *给水排水*, 2001, **27**(8): 35-36.
- [30] Kadlec R H, Knight R L. *Treatment wetlands: Allelopathy as a Means of Biological Control of Water Weeds*[R]. New York: Lewis Publishers, 1996.
- [31] 王庆安, 黄时达, 孙铁珩. 湿地植物光合作用向水体供氧能力的试验研究[J]. *生态学杂志*, 2000, **19**(5): 45-51.
- [32] 高拯民, 李宪法. *城市污水土地处理利用设计手册*[M]. 北京: 中国标准出版社, 1990.
- [33] 宋铁红, 尹军, 崔玉波. 不同进水方式人工湿地除污效率对比分析[J]. *安全与环境工程*, 2005, **12**(3): 46-48, 51.
- [34] 邵丽, 林志祥, 张洪海, 等. 人工湿地存在的问题及解决措施[J]. *云南农业大学学报*, 2009, **24**(4): 603-606, 613.
- [35] Szczepański A J. Allelopathy as a means of biological control of water weeds[J]. *Aquatic Botany*, 1977, **3**: 193-197.
- [36] Costanza R, D'Aege R, Groot R D, *et al.* The value of the world's ecosystem services and natural capital [J]. *Nature*, 1997, **387**(6630): 253-260.
- [37] 陈永华, 吴晓芙, 郝君, 等. 人工湿地植物应用现状与问题分析[J]. *中国农学通报*, 2011, **27**(31): 88-92.
- [38] Bachand P A M, Horne A J. Denitrification in constructed free-water surface wetlands: II. Effects of vegetation and temperature [J]. *Ecological Engineering*, 1999, **14**(1-2): 17-32.
- [39] 张显龙, 周力. 人工湿地处理城市污水在北方的应用[J]. *环境工程*, 2005, **23**(4): 23-24.
- [40] Wallace S, Parkin G, Cross C. Cold climate wetlands: design & performance [A]. In: Presented at the 7th International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control[C]. Florida: Lake Buena Vista, 2000. 11-16.
- [41] 刘学燕, 代明利, 刘培斌. 人工湿地在我国北方地区冬季应用的研究[J]. *农业环境科学学报*, 2004, **23**(6): 1077-1081.
- [42] 华莱士·S, 帕金·G, 考思·C. 寒冷地区污水处理的人工湿地设计与运行[J]. *中国环保产业*, 2003, (6): 40-42.
- [43] 李亚峰, 刘佳, 王晓东, 等. 垂直流人工湿地在寒冷地区的应用[J]. *沈阳建筑大学学报(自然科学版)*, 2006, **22**(2): 281-284.
- [44] 张建, 邵文生, 何苗, 等. 潜流人工湿地处理污染河水冬季运行及升温强化处理研究[J]. *环境科学*, 2006, **27**(8): 1560-1564.
- [45] 雒维国, 王世和, 黄娟, 等. 潜流型人工湿地低温域脱氮效果研究[J]. *中国给水排水*, 2005, **21**(8): 37-40.
- [46] 雷俊山, 叶闵, 余秋梅, 等. 垂直-水平流人工湿地系统除污效果研究[J]. *人民长江*, 2008, **39**(23): 77-79.
- [47] Winter K J, Goetz D. The impact of sewage composition on the soil clogging phenomena of vertical flow constructed wetlands [J]. *Water Science and Technology*, 2003, **48**(5): 9-14.
- [48] 张帆, 陈晓东, 常文越, 等. 潜流湿地系统防堵塞设计及运行措施探讨[J]. *环境保护科学*, 2009, **35**(1): 24-26.
- [49] Waston J T, Danzing A J. Pilot-scale nitrification studies using vertical flow and shallow horizontal flow constructed wetlands cells [A]. In: *Constructed Wetlands and Water Quality Improvement* [C]. Boca Raton: Lewis Publishers, 1993.
- [50] Platzer C, Mauch K. Soil clogging in vertical flow reed beds-mechanisms, parameters, consequences and solutions [J]. *Water Science and Technology*, 1997, **35**(5): 175-181.
- [51] Cooper P. A review of the design and performance of vertical-flow and hybrid reed bed treatment systems [J]. *Water Science and Technology*, 1999, **40**(3): 1-9.
- [52] 张秋贞, 王立彤, 郭淑琴. 人工湿地的工艺设计探讨[J]. *给水排水*, 2009, **35**(增刊): 161-164.
- [53] 余国营. 湿地研究进展与展望[J]. *世界科技研究与发展*, 2000, **22**(3): 61-66.

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 Allochemicals 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 Quinolofop-p-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

国内外公开发行人