

· 水业导航 ·

人工湿地技术在污水处理与水环境保护中的应用及展望

同济大学环境科学与工程学院教授 周 琪

1 人工湿地在污水处理方面的应用

人工湿地作为利用自然条件,运行成本较低的污水处理技术,起源于上世纪 50 年代,1969 年和 1974 年分别在荷兰和德国建成了第一座表面流人工湿地和潜流人工湿地,目前全球已建有两万多座,在世界各地都有应用并已经积累了较丰富的建设和运行经验。国外大多数人工湿地常与稳定塘或天然土地联合处理市政或生活污水。我国广大农村地区幅员辽阔,在村镇周边有土地可以利用,采用预处理(包括化粪池、沉淀池、厌氧水解池、生物滤池等)串联人工湿地(单级或多级)来处理生活污水,已经得到成功的应用,成为我国村镇和分散居住区污水处理的主流技术之一。人工湿地还适宜于作为城市污水处理厂出水的三级处理技术,将达 GB 18918—2002 一级 B 排放标准的出水提升为一级 A 排放标准。

生活污水的处理采用潜流式人工湿地较多,与表面流人工湿地比,潜流式人工湿地去除水中 BOD、氮、磷、悬浮物的效率较高,一个设计和运行良好的潜流式人工湿地一般对 BOD₅ 的去除可达 60%,总氮 40%,总磷 40%,悬浮固体可以达到 70%以上。潜流式人工湿地的卫生条件也较好,但建设成本较高。表面流人工湿地由于污染物的去除效率不高,卫生条件难于控制,一般较少在处理生活污水中应用。

近年来,人工湿地技术在工业废水处理中也得到应用,包括石油化工、采矿、造纸、皮革、印染、屠宰、养殖等废水。由于这类废水水质差异显著,有的含有高浓度难降解的有机污染物,有的含盐含氮氮量高,因此在进入人工湿地系统之前需要较完善的处理,而且在应用人工湿地时一定要经过试验和充分论证。湿地作为该类废水的后处理和回用水处理是合适的。人工湿地对食品加工业及酿酒业废水处理效果好,国外应用得较为成熟。目前也有探索采

用各种类型人工湿地处理垃圾渗滤液等高浓度难降解废水的研究成果,但系统运行效果并不稳定,出水指标尚难以达到相关标准。

2 人工湿地在面源污染控制的应用

我国的城市水体(城市河流、公园和住宅区景观河流及湖泊等)普遍受到污染,水质达不到规划要求,部分水体富营养化严重,有的甚至黑臭。控制暴雨径流污染,特别是初期雨水处理是有效保证水环境质量的重要措施。由于人工湿地可经济有效处理低浓度有机废水,国外在用它来处理暴雨径流(城市径流、农业径流、飞机场径流、高速公路径流)方面有成功的应用。英国、澳大利亚等国家采用人工湿地取代传统的雨水调蓄池净化合流制溢流污水,并积累了大量相关工程经验。在一些居住小区,建造一些小型人工湿地,用湿地的沉淀过滤过程去除初期雨水中的有机污染物及氮磷等营养盐,既处理初期雨水,又可以减少径流排放。如果将处理的雨水进行收集贮存,还可以作为小区绿化水源回用,湿地技术已成为面源污染控制的实用技术。

对排入小水体或封闭水体的城市污水处理厂尾水,为了进一步降低污染物和氮磷浓度,可以采用人工湿地对水质进行稳定处理,形成污水处理厂与地表水体之间的“生态缓冲带”。一些水资源相对匮乏的国家用人工湿地的出水进行回用。工程实践表明,经湿地系统处理后的尾水水质多数能达到农业灌溉用水标准和市政用水标准,但尾水中粪大肠杆菌等卫生指标往往不能稳定达标。尽管如此,人工湿地在非人体直接接触水的回用领域还是具有相当的潜力。

3 人工湿地在受污染水体修复方面的应用

对受污染的城市景观水体的生态修复,人工湿地也是一种可供选择的技术。可以将部分受污染水抽入表面流人工湿地进行净化,也可以在这类水体周边建设一些与地面绿化或岸带生态化相结合潜流

式人工湿地,有针对性的以脱氮或除磷或兼顾二者来选择填料种类,将受污染水体用提升或自流方式进入湿地,经过湿地处理后再回流到水体中,使水体在循环处理中得到净化。工程运行表明,该技术和水体的内源及整体水生态环境构建相结合,对水体的水质稳定,控制富营养化有一定的作用,我国在这方面有一些成功的实践,特别是对小型景观水体是有效的。但需要长期运行中积累更多的运行经验,同时不可忽视对湿地的维护和运行管理。

对我国一些受污染的饮用水源,人工湿地可以有效去除水中的低浓度的氮磷和微量有机污染物,成为饮用水的预处理技术。

4 潜流湿地的填料选择

填料是建设成本重要的控制因素,需要从去除污染物的主要目标和技术经济综合考虑。石英砂、砾石、矿渣、陶粒、火山石、石灰石、沸石、钢(铁)渣、钙硅石、人工合成材料都可以作为潜流湿地的填料。沸石对氨氮有较好的吸附(离子交换)效果,含钙含铁的填料对磷有很好的去除效果。但这些填料对磷吸附的能力测试多为实验室数据,也没有考虑长期运行后的影响因素,例如对于除磷,如不考虑和水质相关的磷的化学沉积,运用 *Langmuir* 和 *Freundlich* 吸附等温模型进行吸附动力学描述是无法准确反映出基质对磷的真实去除量的。因此在评估含有除氮和磷填料的人工湿地生命周期时需谨慎考虑和评估。由于应用条件的差异和材料自身特点,即使是相同填料,在实际处理能力上差异也较大,难于直接借鉴其他工程的经验,在应用时最好对材质和吸附性能进行测定。钢渣的确具有良好的吸附磷能力并可在实际工程中应用,但由于碱度大,建议按一定比例和其他基质混填,以免对湿地植物生长产生影响。

关于填料的级配,通常要综合考虑比表面积和填料堵塞问题,建议滤料按水流方向粒径由大变小,减少湿地堵塞,增长运行周期。一般湿地的堵塞是可以通过部分更换填料的方法来解决。

5 人工湿地的设计

为了使人工湿地能高效、稳定达到预期的设计目标,美国、澳大利亚及欧洲数国都相继编制了人工湿地设计指南及相关规范,尤其是针对寒冷地区与热带地区处理对象为市政及生活污水的湿地设计指

南,推动了人工湿地技术的应用。目前指南推荐的设计方法和计算多以一级推流动力学模型为基础。动力学参数值的选取需要综合考虑人工湿地处理效率的影响因素(如气候条件、进水水质、水流流态、填料、植物等)。在人工湿地的面积设计标准上各国也有所差异,欧洲国家普遍采用人口当量作为设计基准,而美国与西班牙则采用污染物最大负荷率作为设计基准,后者计算结果较前者保守。在湿地面积计算上通常采用污染物面积负荷法来设计,但要注意的是处理对象和目标污染物的选取,如果以去除有机污染物为主,设计可以采用 *BOD* 面积负荷,以去除氮为目的的则应采用总氮或氨氮的面积负荷。不同的处理对象得到的湿地面积是不同的,负荷的选取目前有很多参考文献可以查阅。随着人工湿地应用范围的不断拓展,许多国家都编制了以农业废水、工业废水、暴雨径流等为处理对象的人工湿地设计指南和手册,可以作为我国设计人工湿地的参考。

6 人工湿地的管理

人工湿地的运行有一个逐渐成熟的阶段,有的甚至长达 2~3 年,因此人工湿地的管理对该技术的良好运行至关重要。目前英国和北美已建成各自的人工湿地数据库,为科学管理湿地提供了技术支撑。其中,英国人工湿地数据库由人工湿地协会(*CWA*)负责主管,在经过 9 次数据库升级后,该数据库已包含全英境内超过 1 000 个人工湿地的相关信息,其应用范围覆盖生活污水、采矿废水、污泥、垃圾渗滤液、工业废水、地表径流及道路径流,并特别采用插图案例的形式,概括描述了湿地的设计、建造和运行情况。北美人工湿地数据库(*NADB*)由美国环保总署(*USEPA*)在 1994 年建成,内容除与英国人工湿地数据库相近外,还包含了大量自然湿地的植物、野生动物、人类活动及水质监测等相关指标。对我国人工湿地的管理很有借鉴意义。

7 微量有机污染物去除

环境中一些微量污染物已对水生态系统和人类健康构成了一定的安全风险,越来越多的研究开始关注特殊污染物在人工湿地内部的迁移转化规律。研究对象主要包括药品和个人护理用品(*PPCPs*)、内分泌干扰素(*EDCs*)和阴离子表面活性剂等。

近年来,有关利用人工湿地去除 *PPCPs* 有较

多的研究报道。其中,大部分 PPCPs(氯贝酸、卡马西平等除外)都能在人工湿地内得到有效去除。表面流人工湿地对 PPCPs 的处理效果接近三级处理工艺(臭氧氧化和膜生物反应器),去除机理主要为光分解和生物降解。垂直流和水平流人工湿地对 PPCPs 的去除机理主要是基质吸附和生物降解,去除效能略高于活性污泥法和生物滤池等传统二级处理工艺。EDCs 广泛存在于市政生活污水、农业径流污水和受污染地下水中。市政及生活污水中含有像雌激素、邻苯二甲酸酯、多环芳烃以及非离子型表面活性剂等微量有机污染物。在农业径流污水中通常携带有除草剂(甲草胺、阿特拉津、西玛津)和杀虫剂(百菌清、毒死蜱、硫丹、拟除虫菊酯)。各类 EDCs 在人工湿地中通过生物降解、基质吸附、光分解、植物吸收和挥发等作用去除。人工湿地对直链烷基苯磺酸盐等阴离子型表面活性剂也有较好的降解效果,降解程度随母体碳链增长而增加。研究和探明微量污染物在湿地中的迁移转化,用相应的工程措施强化污染物的去除对湿地出水的水质安全有重要的意义。

8 温室气体排放控制

通过人工湿地系统能有效去除污水中的有机物与氮元素,但同时也会产生 CH_4 、 CO_2 及 N_2O 等温室

气体,其中 CH_4 与 N_2O 的温室效应分别为 CO_2 的 23 倍和 296 倍。人们现在也开始关注人工湿地内部温室气体的产生与控制。研究表明,湿地内部 N_2O 排放量随季节变化显著,而 CH_4 排放量受季节影响较小。不同文献报道的湿地 CH_4 和 N_2O 的排放量差异明显。其中,影响湿地 CH_4 排放量的主要因素为氧气含量、水面深度、植物种类及温度,而影响湿地 N_2O 排放量的主要因素为曝气、植物种类及 COD/N 值。有研究表明,种植水生植物且同时具有人工曝气系统的湿地有最佳温室气体减排效果。

9 结语

虽然在“六五”期间我国就开始了有关人工湿地处理生活污水的研究和应用,但总的说来目前还处于积累相关设计、建造和运行管理经验的阶段。目前系统的设计参数选取、去除效率的估算、系统构造、建造材料上还只能参照相近的工程实践和国外已经成功的实例进行。由于人工湿地影响因素众多,运行经验不足,控制条件复杂,运行中难以实现精细化过程控制。湿地运行、维护、植物种植和收获、潜流湿地填料的更换等管理问题还需要长期运行来总结。因此积累已有湿地运行的经验和数据,建立相关的数据库和专家系统,编制适合我国的人工湿地设计指南与规范具有特别重要的意义。

欢迎订阅《给水排水》杂志社出版物

一 《给水排水》简介

《给水排水》创刊于 1964 年,是国内创刊最早,发行量最大,内容涵盖最广的水行业综合性权威期刊。《给水排水》由中华人民共和国住房和城乡建设部主管,亚太建设科技信息研究院(原建设部科技信息研究所)、中国建筑设计研究院、中国土木工程学会主办。

二 主要出版物

《给水排水》各期杂志、合订本、光盘、增刊、《给水排水动态》和论文集等,具体内容请登录 <http://www.wwe1964.com> 查阅本刊“订购单”。

三 发行与订阅

期刊国内订阅处:各地邮局(所)

国内邮发代号:2-757

期刊定价:9 元/期,108 元/全年

期刊国外总发行:中国国际图书贸易总公司,电话:

(010)68413063,国外发行代号:M4425

其他出版物,请直接联系本杂志社订阅。

四 汇款方法

(1) 邮局汇款

收款人姓名:《给水排水》编辑部

收款人地址:100044 北京西外车公庄大街 19 号

(2) 银行汇款

户名:亚太建设科技信息研究院

账号:804312859408091001

开户行:中行新世纪饭店支行

五 联系方式

发行部电话:(010)68305036

传真:(010)68302904

E-mail:gsp@vip.163.com

联系人:张秀兰

杂志社网站:www.wwe1964.com