

垂直流人工湿地技术在北方污水处理及回用工程中的应用

何 艺, 王小江 (深圳市环境科学研究院, 广东深圳 518001)

摘要 以垂直流人工湿地为核心的污水处理系统用于天津某镇污水处理及回用, 系统去除效果好, 运行稳定, 出水可作为人工湖的补水。外界温度为 20~30 ℃ 时, 整个系统对 COD_{Cr}、BOD₅、SS、NH₃-N 和 TP 平均去除率分别为 89.2%、95.4%、92.3%、89.8% 和 92.2%; 外界温度为 -6~4 ℃ 时, 整个系统对 COD_{Cr}、BOD₅、SS、NH₃-N 和 TP 平均去除率分别为 86.7%、94.2%、89.6%、84.0% 和 89.8%。人工湿地污水处理系统可通过优化运行参数来减少低温对系统造成的不利影响。

关键词 垂直流人工湿地; 污水回用; 冬季运行

中图分类号 S271 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2013)11-05002-02

Vertical Flow Constructed Wetland Used for Sewage Treatment and Reuse Project in North China
HE Yi et al (Shenzhen Academy of Environmental Science, Shenzhen, Guangdong 518001)

Abstract Vertical flow constructed wetland was used for treating wastewater in a town of Tianjin. The vertical flow constructed wetland was the core unit of sewage treatment system. The operation results showed that the removal effect of pollutant was good, and the outflow water could supply reclaimed water for artificial lake. When the outside temperature was between 20 and 30 ℃, the average removal rates of COD_{Cr}, BOD₅, SS, NH₃-N and TP were as high as 89.2%, 95.4%, 92.3%, 89.8% and 92.2%. When the outside temperature was between -6 and 4 ℃, the average removal rates of COD_{Cr}, BOD₅, SS, NH₃-N and TP were as high as 86.7%, 94.2%, 89.6%, 84.0% and 89.8%. The adverse effects of low temperature could be reduced by optimizing running parameters.

Key words Vertical flow constructed wetlands; Sewage treatment; Running in winter

人工湿地技术是一种生态型污水处理技术, 具有投资少、运行成本低、去污效果好、抗冲击负荷能力强及改善生态环境等优点^[1-2], 适用于污水再生处理及回用, 被广泛用于氮磷等的去除^[3]。目前, 人工湿地技术在我国南方应用较多, 但在北方的污水处理工程中应用较少, 主要是由于北方冬季气温较低。以天津社会主义新农村建设为契机, 在某示范小城镇中设计建设人工湿地污水处理及回用系统。该示范镇在邻近区域新建公园, 公园中有面积为 15 000 m² 的人工湖, 为最大程度满足人工湖的补水需要, 同时做到污水利

用资源化、节约化, 改善农村的生态环境, 采用人工湿地综合处理系统处理及回用污水, 污水处理规模为 200 m³/d, 出水水质目标为《城市污水再生利用 景观环境用水水质》(GB/T18921-2002) 湖泊类标准。

1 工艺流程及设计参数

1.1 工艺流程 污水处理系统采用以“水解酸化 + 接触氧化 + 混凝沉淀”组合工艺为前处理的垂直流人工湿地系统, 工艺流程如图 1。

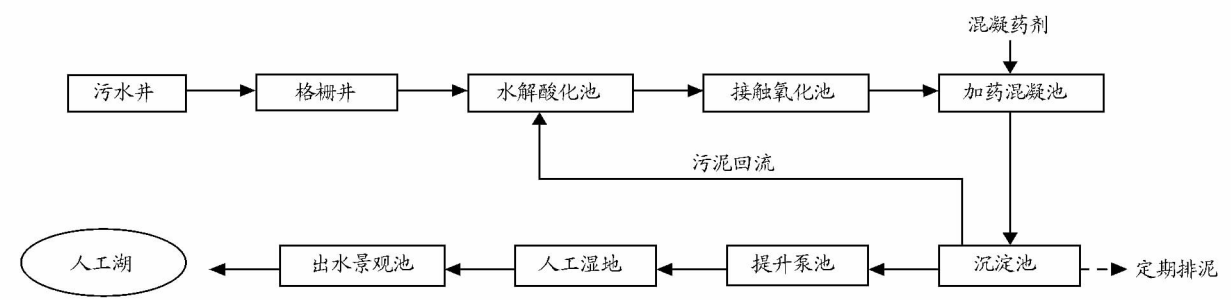


图1 工艺流程图

1.2 设计参数

- 1.2.1 格栅井。**格栅井尺寸为 2.0 m × 1.0 m × 1.8 m, 采用自制不锈钢格栅, 栅孔尺寸为 10 mm; 人工定期清渣。
- 1.2.2 水解酸化池。**水解酸化池水力停留时间 (HRT) 5 h, 池体尺寸 3.2 m × 3.2 m × 4.4 m, 流速 $V=0.81$ m/h; 在水解酸化池内安装组合填料, 填料表面附着大量微生物菌, 以提高对污染物的去除效果。
- 1.2.3 接触氧化池。**接触氧化池水力停留时间 (HRT) 5.5 h, 池体尺寸 3.8 m × 3.2 m × 4.4 m, 设计接触氧化池内气水

- 比为 4:1, 设置潜水式曝气机 1 台, 进气量为 40 m³/h, 功率为 2.2 kW。在接触氧化池内安装微生物附着填料, 增加各种群微生物量, 尽量提高对有机物和氨氮的去除效果。
- 1.2.4 加药混凝池。**加药混凝池与接触氧化池合建, 池体尺寸 1.0 m × 1.0 m × 4.1 m, 水力停留时间为 0.5 h, 在加药混凝池中设置 1 台小型搅拌器, 增强混凝剂与污水的混合效果。
- 1.2.5 竖流沉淀池。**竖流沉淀池沉淀时间 2 h, 池体尺寸为 3.2 m × 3.2 m × 5.0 m, 其中超高 0.5 m, 污泥斗高度为 1.6 m, 缓冲层 0.3 m, 污泥斗倾角 60°, 中心管直径 300 mm。选用排泥泵定期回流污泥至水解酸化池, 排泥泵功率为 0.75 kW。

作者简介 何艺 (1983 -), 女, 吉林白山人, 硕士, 从事环境保护工作, E-mail: 110368773@qq.com。

收稿日期 2013-04-02

1.2.6 污水提升泵池。污水提升泵池水力停留时间 (HRT)2 h,池体尺寸 3.2 m×1.5 m×4.4 m,池内安装潜水提升泵 2 台(一用一备),单机功率 0.75 kW,水位控制提升泵运行。

1.2.7 垂直流人工湿地。垂直流人工湿地总占地面积 800 m²,水力负荷 0.25 m³/(m²·d),填料层厚 1.5 m。湿地植物为多种适合当地气候的水生植物组成,有芦苇、花叶芦荻、香蒲、美人蕉。湿地系统既达到净化污水的目的,又产生美化环境的效果。湿地出水通过管道流入出水景观池,再流入邻近公园的人工湖。

表 1 2008 年 6 月污水处理系统主要处理单元对污染物的进出水浓度及平均去除率

污染物	进水 mg/L	格栅		水解酸化池		接触氧化池		混凝 + 沉淀池		垂直流人工湿地		总去 除率 %
		出水	去除率	出水	去除率	出水	去除率	出水	去除率	出水	去除率	
		mg/L	%	mg/L	%	mg/L	%	mg/L	%	mg/L	%	
COD _{Cr}	252.0	251.0	0.4	180.5	28.1	86.3	52.2	79.4	8.0	27.1	65.9	89.2
BOD ₅	99.0	98.3	0.7	79.1	19.5	34.9	55.9	33.8	3.2	4.6	86.4	95.4
SS	84.0	82.3	2.0	72.3	12.2	70.3	2.8	23.0	67.3	6.5	71.7	92.3
NH ₃ -N	35.4	35.2	0.6	33.6	4.5	19.7	41.4	14.5	26.4	3.6	75.2	89.8
TP	5.9	5.9	0.5	5.1	12.4	4.2	18.3	1.2	72.6	0.5	60.0	92.2

2002)湖泊类标准,可作为景观湖的补水。格栅去除大颗粒有机物,防止后续污水处理设施堵塞。水解酸化池对污水中 COD_{Cr}和 BOD₅ 有一定去除效果,但总体去除率偏低。接触氧化池作为主要预处理单元,对有机物和氨氮去除率贡献较大,其对 COD_{Cr}和 BOD₅ 去除率可达 50% 以上,对 NH₃-N 去除率也在 40% 以上。混凝池中由于加入与磷反应的化学药剂,该单元对 TP 去除率可达 70% 以上;沉淀池主要对 SS 进行去除。垂直流人工湿地是整个系统的核心部分,其对各污染物具有高效去除率,对 BOD₅ 去除率达到 85% 以上,SS 和氨氮去除率在 70% 以上,对 COD_{Cr}和 TP 去除率在 60% 以上。由于垂直流人工湿地布水均匀,使得湿地填料空间利用充分,污水与湿地微生物接触面积大,停留时间长,使有机物和氨氮得到充分降解^[4-5],同时湿地独特的填料组成对污染物也发挥着一定的吸附和截留作用^[6],湿地植物在氮磷等污染物去除中起到协同作用。

表 2 2008 年 12 月污水处理系统主要处理单元对污染物的进出水浓度及平均去除率

污染物	进水 mg/L	格栅		水解酸化池		接触氧化池		混凝 + 沉淀池		垂直流人工湿地		总去 除率 %
		出水	去除率	出水	去除率	出水	去除率	出水	去除率	出水	去除率	
		mg/L	%	mg/L	%	mg/L	%	mg/L	%	mg/L	%	
COD _{Cr}	287.1	282.0	1.8	201.3	28.6	104.2	48.2	84.3	19.1	38.3	54.6	86.7
BOD ₅	102.4	101.3	1.1	88.4	12.7	40.4	54.3	36.4	9.9	5.9	83.8	94.2
SS	90.4	89.6	0.9	85.6	4.5	81.0	5.4	27.9	65.6	9.4	66.3	89.6
NH ₃ -N	29.4	29.0	1.4	28.4	2.1	18.4	35.2	16.4	10.9	4.7	71.3	84.0
TP	4.6	4.6	0	4.5	2.2	3.9	13.3	0.9	78.2	0.5	44.7	89.8

3 主要经济技术指标

人工湿地污水处理及回用工程总投资为 92.6 万元,系统运行费 3.1 万元/a,污水处理系统运行成本为 0.43 元/m³。污水再生水为优质回用水,作为水景和人工湖的日常补水,节省了由自来水补水的费用。若自来水按 2.00

2 运行结果及分析

该工程于 2008 年 4 月竣工,经运行调试后稳定运行,在 2008 年 6 月和 12 月对系统进水和主要处理单元分别进行了 3 次水质检测,检测指标包括 COD_{Cr}、BOD₅、SS、NH₃-N、TP。2008 年 6 月检测水质期间,外界温度为 20~30℃。由表 1 可知,该系统对主要污染物都有较高的去除效果,对 COD_{Cr}、BOD₅、SS、NH₃-N 和 TP 平均去除率分别为 89.2%、95.4%、92.3%、89.8% 和 92.2%。“水解酸化 + 接触氧化 + 混凝沉淀 + 垂直流人工湿地”系统处理生活污水,出水达到《城市污水再生利用景观环境用水水质》(GB/T18921-

2008 年 12 月检测水质期间,外界温度为 -6~4℃。由表 2 可知,人工湿地单元在冬季虽然去除效率有所下降,但对各污染物具有较好的去除效果,对 BOD₅ 去除率达到 80% 以上,氨氮去除率在 70% 以上,SS 去除率在 60% 以上,这主要是由于人工湿地中的微生物和填料的生物、物理和化学复合作用是人工湿地的主要去污机理。从整个系统来看,即使在冬季,通过对系统的运行参数进行优化,整个系统对污染物的去除效果也较好,对 COD_{Cr}去除率仍可达到 90% 以上,对其他污染物的去除率也基本可达 85%,出水水质达标。这主要是由于人工湿地污水处理系统在冬季运行中采取了以下强化措施:①将湿地植物收割晒干后,铺于湿地表面用于保温;②增加接触氧化池曝气时间,以提高微生物降解效率;③增加污泥回流量,以保证活性污泥量^[7];④适量增加混凝药剂的投加量,强化对 TP 的去除效率。

元/m³ 计算,回用水量按 180 m³/d(处理过程中水量损失按 10%)计算,则由此可节约自来水费 13.14 万元/m³,扣除系统年运行费后,每年还有 10.04 万元的盈余,经济效益显著。

不可持续的。外源能的投入,使耕地受到污染、质量下降,耕地的生态功能退化;由于农业的比较效益低下,城乡收入差距大使得农村青壮年劳动力非农转移,农业劳动力短缺和老龄化,耕地的利用程度及效率下降;同时农业劳动力老龄化造成农业生产后继乏人,使农业的传承也出现了问题。

(2)自然条件差是研究区耕地利用状况形成的客观因素,种植业经济效益低下是直接原因,社会因素包括农村家庭开支加大、耕地细碎化,政策因素主要表现在国家对农业的支持和保护力度仍不够,农村社会保障体制、耕地流转及监管不完善等,技术因素是基层的农技服务工作严重缺乏。

(3)研究区仍保留有一些优良的传统农作方式,如施用有机肥、轮作倒茬、多种经营、循环利用等,这些传统农业的精华维持了中华民族几千年的绵延发展。西方工业化的农作方式产生的土壤退化及环境污染,使世界许多农民回归到传统的农作方式以解救他们的土壤^[11]。可见要使研究区耕地可持续利用,必须吸收和继承传统农业的精华,将现代农业技术同当地优良的传统农作方式有机结合起来,发展生态循环农业。

(4)种植业经济效益低下是限制耕地可持续利用的直接原因,社会、政策、技术因素间接导致了耕地利用现状的形成,因此耕地的保护只单依靠农户自身的能力已无力承担,

(上接第 5003 页)

4 结论

(1)该工程采用“水解酸化+接触氧化+混凝沉淀+垂直流人工湿地”系统处理生活污水,出水达到《城市污水再生利用 景观环境用水水质》(GB/T18921-2002)湖泊类标准,系统去除效果好,运行稳定,湿地出水可作为景观湖的补水。外界温度为 20~30℃时,整个系统对 COD_{Cr}、BOD₅、SS、NH₃-N 和 TP 平均去除率分别为 89.2%、95.4%、92.3%、89.8% 和 92.2%;外界温度为-6~4℃时,整个系统对 COD_{Cr}、BOD₅、SS、NH₃-N 和 TP 平均去除率分别为 86.7%、94.2%、89.6%、84.0% 和 89.8%。

(2)工程总投资为 92.6 万元,污水处理系统运行成本为 0.43 元/m³,系统出水回用具有明显的经济效益和示范意义。

(3)人工湿地污水处理系统可通过优化运行参数来减少低温对系统造成的不利影响,采用湿地植物铺于湿地表面层

需要国家和各地政府从资金、政策、技术、人员等方面加大对农业的支持力度,营造一个理解与支持农业的良好社会环境,同时引导农民进行可持续的农业生产,提高农业生产效益、增加农民收入,才能从根本上解决耕地资源可持续利用的难题。

参考文献

[1] 李根蟠. 精耕细作、天人关系和农业现代化[J]. 古今农业, 2004(3): 85-91.

[2] 赵静. 我国农村耕地利用及保护对策[J]. 资源开发与市场, 2007, 23(9): 839-840.

[3] 林碧珊, 苏少青, 曾晓舵. 广东省耕地利用现状及其对策研究[J]. 生态环境, 2008, 17(1): 454-458.

[4] 李小云. 参与式发展概论[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2001.

[5] 王晓军, 宇振荣. 基于参与式地理信息系统的社区制图研究[J]. 陕西师范大学学报: 自然科学版, 2010, 38(2): 95-98.

[6] 李澜, 李阳. 我国农业劳动力老龄化研究问题研究——基于全国第二次农业普查数据的分析[J]. 农业经济问题, 2009(6): 61-66.

[7] 米长虹, 黄土忠, 王继军, 等. 农药对农田土壤的污染及防治技术[J]. 农业环境与发展, 2000, 17(4): 23-25.

[8] 蒋高明. 以生态循环破解农村环保难题[J]. 环境保护, 2010(19): 15-17.

[9] 张红, 王晓军, 贾宁凤, 等. 基于多利益相关者视角的耕地利用与保护研究[J]. 干旱区资源与环境, 2012, 26(2): 126-131.

[10] 胡火金. 中国传统农业生态思想与农业的可持续发展[J]. 中国农史, 2002, 21(4): 48-52.

[11] StanCox. Theworldcan'taffordtokeepwastingsoil[J/OL]. 2012-06-07]. <http://www.aljazeera.com/indepth/opinion/2012/01/20121992725118465.html>.

保温,增加接触氧化池曝气时间,增加污泥回流量,加大混凝剂投加量等措施,保证系统稳定运行。

参考文献

[1] 梁继东, 周启星. 人工湿地污水处理系统研究及性能改进分析[J]. 生态学杂志, 2003, 22(2): 49-55

[2] BLOCK A, KELANA CENTRE POINT JALAN. The use of constructed wetlands for wastewater treatment[M]. Malaysia: Wetlands International-Malaysia Office, 2003.

[3] FANG R J, TAN M L. Control effect of floating plants constructed wetland to nitrogen and phosphorus pollution from rice field drainage[J]. Meteorological and Environmental Research, 2010, 1(11): 70-72.

[4] 赵艳, 李锋民, 王昊云, 等. 好氧/厌氧潜流湿地微生物多样性与净化能力的关系[J]. 环境科学学报, 2011, 31(11): 2423-2431.

[5] 梁威, 胡洪营. 人工湿地净化污水过程中的生物作用[J]. 中国给水排水, 2003, 19(10): 28-31.

[6] 黄逸群, 张民, 徐玉新. 人工湿地填料净化生活污水级配优化研究[J]. 环境科学与技术, 2009, 32(3): 130-134.

[7] 李晓东, 孙铁珩, 李海波. 低温处理生活污水的复合厌氧工艺研究[J]. 安全与环境学报, 2008, 8(1): 41-43.