

# 垂流式人工湿地处理官厅水库入库水研究

代明利<sup>1</sup>，欧阳威<sup>1</sup>，刘培斌<sup>2</sup>，马晓波<sup>1</sup>，刘红<sup>1</sup>

(1.北京师范大学 环境科学研究所,北京 100875; 2.北京市水利科学研究所,北京  
100044)

**摘要：**在官厅水库永定河入库口处进行了垂流式人工湿地对入库河水的净化试验。结果表明,在渗滤时间<1 h 时垂流式人工湿地对河水就有较好的净化效果(对有机污染物和  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  的去除率都能达到 80% 左右,对 TN 和 TP 的去除率为 40% 左右)。

**关键词：**水库入库水；人工湿地；脱氮除磷

中图分类号：X703.1 文献标识码：A 文章编号：1000-4602(2003)03-0004-04

## Study on Treatment of Guanting Reservoir Inflow on Vertical Flow Constructed Wetlands

DAI Ming-li<sup>1</sup>, OUYANG Wei<sup>1</sup>, LIU Pei-bin<sup>2</sup>, MA Xiao-bo<sup>1</sup>, LIU Hong<sup>1</sup>

(1. Research Institute of Environmental Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 2. Beijing City Water Conservancy Science Institute, Beijing 100044, China)

**Abstract:** Field experiment was made at the entrance of Yongdinghe River into the Guanting Reservoir on the treatment of reservoir inflow water by the vertical flow constructed wetlands. Experimental data indicated that when hydraulic retention time is less than one hour, the vertical flow constructed wetland has better purification results on river water, that is, the removal rate of organics and  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  can reach about 80%, and TN and TP about 40%.

**Keywords:** reservoir inflow water; constructed wetland; nitrogen and phosphorus removal

### 1 试验设计

#### 1.1 基本条件

试验场地位于河北省怀来县桑园镇万窑附近,靠近永定河入库口。

水质监测结果和 1999 年入库河水调查资料表明,污染主要集中在洋河下花园至怀来段,因此原水取自八号桥附近的永定河。该地区多年的气象资料见表 1。

表 1 气象监测数据

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
蒸发量( mm )	52.1	71.8	136.4	242.1	320.6	310.3	276.1	238.9	200.3	159.8	80.6	51.4
地表温度( °C )	-7.8	-2.4	5.8	15.5	22.6	27	28.6	27.1	20.7	11.4	1.5	-6.1
相对湿度( % )	38	39	43	39	44	55	69	70	62	52	49	43
平均气温( °C )	-6.6	-2.5	3.6	12.1	18.4	22.8	24.7	23.4	10.7	2.2	-4.5	

注:此上数据由怀来县气象局提供。

由于湿地填料层与 Hazen 等人提出的公式<sup>[1]</sup>要求差别较大,因此采用现场实测:连续过水数天后

基金项目:国家重点科技攻关计划项目(96-920-40-04)

(系统土壤为水饱和环境)停水5 h,然后重新进水。从进水到出水的时间:芦苇湿地为50 min,蒲草湿地为60 min,即芦苇湿地和蒲草湿地的渗透时间分别为50、60 min。

## 1.2 人工湿地的设计

采用垂流式人工湿地。为避免和解决系统堵塞和水力停留时间等问题,此次试验所选砾石的粒径较大。在平面布置上将湿地设计为弯曲条状,以减少死区体积,延长水力停留时间。芦苇湿地和蒲草湿地分别近似梯形和三角形,其面积分别为73.32、76.8 m<sup>2</sup>。

河水通过水泵提升,经过沟渠(宽度为0.6~1.2 m,总长为125.42 m)输送到湿地系统中(如图1所示)。采用连续运行方式。进水口位于湿地表层,水流垂直流过3个结构层,出水从砾石层底部由管道导出。

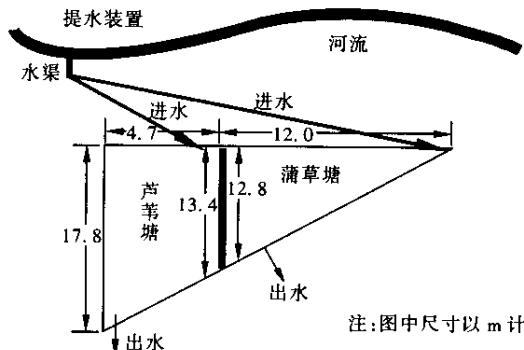


图1 人工湿地系统平面布置图

表5 运行期间湿地植物的生长状况

时间	水温 (℃)	芦苇湿地			蒲草湿地		
		流量 (m <sup>3</sup> /h)	水力负荷 [m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> ·d)]	芦苇高度 (cm)	流量 (m <sup>3</sup> /h)	水力负荷 [m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> ·d)]	蒲草高度 (cm)
9月13日	18.5	0.53	0.174	52.5	0.50	0.156	121.5
9月23日	24.0	0.36	0.118	62.7	0.59	0.184	151.5
9月28日	22.0	0.35	0.115	69.4	0.19	0.059	165.5
10月5日	17.5	0.32	0.105	86.98	0.31	0.0969	172.0
10月15日	16.0	0.28	0.0917	60%枯萎	0.24	0.0750	70%枯萎
10月23日	17.0	0.26	0.0851	75%枯萎	0.22	0.0688	90%枯萎
10月28日		0.24	0.0786	基本枯萎	0.23	0.0719	全部枯萎
11月3日	10.0	0.24	0.0786	全部枯萎	0.20	0.0625	开始腐烂
11月10日	6.0	0.30	0.0982	植物枯萎	0.23	0.0719	

注:① 枯萎主要是指地上部分,10月28日采样时观察到芦苇和蒲草的根没有枯萎;

② 采样时间基本是在下午14:00—16:00。

## 2.2 人工湿地的净化效果

### ① 对有机污染物的去除

人工湿地的土层、沙层取自河道附近滩地,厚度均为40 cm,其粒径分布分别见表2、3;砾石层取自附近荒滩处,厚度为20 cm,粒径为15~20 mm。

表2 垂流式人工湿地的土层粒径分布

$\phi$ (mm)	>0.25	0.05 < $\phi$ ≤ 0.25	0.02 < $\phi$ ≤ 0.05	0.002 < $\phi$ ≤ 0.02	< 0.002
所占比例(%)	50.57	13.79	12.12	12.13	11.39

表3 垂流式人工湿地的沙层粒径分布

$\phi$ (mm)	≥ 2.00	0.25 < $\phi$ ≤ 2.00	0.05 < $\phi$ ≤ 0.25	0.02 < $\phi$ ≤ 0.05	≤ 0.02
所占比例(%)	43.50	48.31	1.24	2.02	4.93

## 1.3 分析指标与方法

分析指标及方法见表4。

表4 分析指标及方法

分析指标	仪器和方法
TN	碱性过硫酸钠分光光度法
TP	法国JY公司ULTIMA型电感耦合等离子光谱仪(ICP)
COD	重铬酸钾法
BOD <sub>5</sub>	德国WTW BOD分析仪
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	德国S12水质分析仪
Hg、As、Cd、Pb	法国JY公司ULTIMA型电感耦合等离子光谱仪(ICP)

## 2 结果与讨论

### 2.1 人工湿地的运行状况

湿地正常运行后从2001年9月13日—11月10日进行了平均1次/周的观测和采样分析,其间植物的生长状况见表5。

人工湿地对COD和BOD<sub>5</sub>的去除效果见表6、7。

表 6 人工湿地对 COD 的去除效果

进水 (mg/L)	芦苇湿地				蒲草湿地			
	出水 (mg/L)	去除率 (%)	水力负荷 [m³/(m²·d)]	有机负荷 [g/(m²·d)]	出水 (mg/L)	去除率 (%)	水力负荷 [m³/(m²·d)]	有机负荷 [g/(m²·d)]
20.30	4.10	79.80	0.174	3.52	3.72	81.67	0.156	3.17
27.82	4.52	83.75	0.118	3.28	5.23	81.20	0.184	5.13
50.88	32.05	37.01	0.115	5.83	35.34	30.54	0.059	3.02
28.72	4.11	85.69	0.105	3.01	4.32	84.96	0.0969	2.78
27.97	3.50	87.49	0.0917	2.56	4.22	84.91	0.0750	2.10
36.43	27.50	24.51	0.0851	3.10	31.97	12.25	0.0688	2.50
61.49	25.78	58.08	0.0786	4.83	27.79	54.80	0.0719	4.42
76.61	28.94	62.22	0.0786	6.02	20.88	72.74	0.0625	4.79
40.90	29.09	28.87	0.0982	4.02	22.61	44.71	0.0719	2.94

表 7 人工湿地对  $BOD_5$  的去除效果

进水 (mg/L)	芦苇湿地				蒲草湿地			
	出水 (mg/L)	去除率 (%)	水力负荷 [m³/(m²·d)]	有机负荷 [g/(m²·d)]	出水 (mg/L)	去除率 (%)	水力负荷 [m³/(m²·d)]	有机负荷 [g/(m²·d)]
3	2	33.33	0.1735	0.5205	1	66.67	0.1563	0.4688
6	3	50.00	0.1178	0.7070	1	83.33	0.1844	1.1063
4	1	75.00	0.1146	0.4583	1	75.00	0.0594	0.2375
5	3	40.00	0.1047	0.5237	3	40.00	0.0969	0.4844
1	1	0	0.0917	0.0917	1	0	0.0750	0.0750
11	6	45.45	0.0851	0.9362	6	45.45	0.0688	0.7566
21	2	90.48	0.0786	1.6498	2	90.48	0.0719	1.5094
47	3	93.62	0.0786	3.6923	3	93.62	0.0625	2.9375
7	2	71.43	0.0982	0.6874	3	57.15	0.0719	0.5031

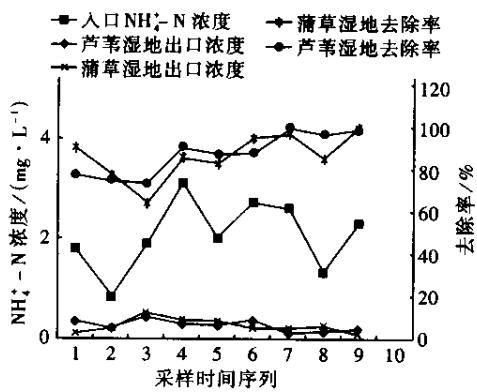
由表 6、7 可以看出, 蒲草湿地和芦苇湿地对 COD 的去除效果没有明显差别; 对  $BOD_5$  的去除率都较高。

~3.5 mg/L 时芦苇湿地和蒲草湿地的处理效率都很高(80%左右), 且不受进水氨氮浓度的影响。蒲草湿地的效果略好于芦苇湿地。

## ② 脱氮除磷

人工湿地对  $NH_4^+ - N$ 、TP、TN 的去除效果见

图 2、3、4。

图 2 人工湿地对  $NH_4^+ - N$  的去除效果

从图 2 可看出, 河水中的  $NH_4^+ - N$  浓度为 1.5

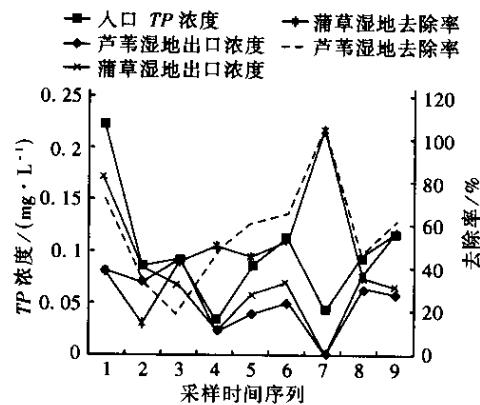


图 3 人工湿地对 TP 的去除效果

从图 3 可看出, 河水中的 TP 浓度为 0.05~0.25 mg/L, 已经基本满足地表水 III 类甚至 I、II 类标准。芦苇湿地对 TP 的处理效率略高于蒲草湿地, 但二者对 TP 的去除率波动都很大。

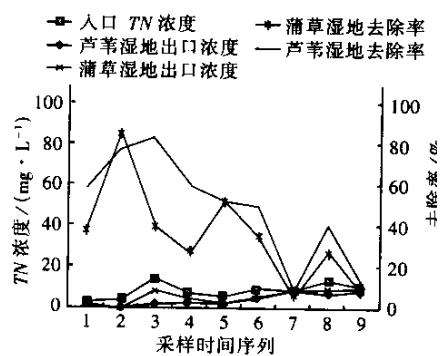


图 4 人工湿地对 TN 的去除效果

从图 4 可看出,河水中的 TN 浓度较低(3~17 mg/L),由于受温度变化的影响,湿地对 TN 的去除效果不稳定(去除率为 8%~80%),且随着气温的降低,去除率呈下降趋势。

### 3 结论

① 在渗滤时间 < 1 h、投配负荷为 0.17~0.08 m/d 的运行条件下,该垂流式人工湿地系统对河水有较好的净化效果。监测期间河水的 COD 为 20~70 mg/L,对其去除率可达到 80%,出水基本可满足

地面水的Ⅲ类标准(COD 为 20 mg/L);NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N 浓度为 1.5~3.5 mg/L,对其的去除率 ≥ 80%,其出水浓度 < 0.5 mg/L,也基本能达到地表水的Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ类标准。

② 通过对种植芦苇和蒲草湿地的平行对比试验,发现二者各有所长,建议两种植物混种以发挥各自的长处。

③ 人工湿地对河水的净化效果(特别是脱氮除磷效果)随温度的降低呈下降趋势。

### 参考文献:

- [1] Michael Morris, Robert Herbert. The design and performance of a vertical flow reed-bed for the treatment of high ammonia, low suspended solid organic effluents [J]. Wat Sci Tech, 1997, 35(5):197~204.

作者简介:代明利(1977-),男,河北藁城人,硕士研究生,研究方向为污水生物处理。

电话(010)62205051

E-mail: lh64@sina.com

收稿日期:2002-09-28

### · 技术交流 ·

## 解决上向流滤池溢水问题的措施

### 1 存在的问题

原设计的上向流滤池的自控系统采用 Modicom 系列 PLC,根据 16 路模拟信号和 64 路开关量状态对 8 组滤池的 24 个电磁阀及空压机、排污泵等设备进行分级控制。但在实际运行中发现,自控系统或供电系统一旦出现问题,所有气动闸阀将全部处于关闭状态,随即滤池停运,此时仅 2 组沉淀池就有近 2 420 m<sup>3</sup> 的澄清水和流量为 4 000 m<sup>3</sup>/h 的原水将在短时间内涌入滤池配水渠(没有设计溢流),在配水渠气动提板闸和搅动流进水阀都关闭的情况下,人工关闭进水阀最快也需 20 min,这时滤池将出现大量溢水,进而造成连锁事故,甚至使整座水厂瘫痪。

### 2 改进措施

通过水厂变电站自动化系统计算机分析,造成多次高压跳闸的原因都是因工频电网发生频率瞬间不稳和电压、电流波形瞬间畸变所致。针对上述问题将低周和低电压动作时间在程序上做了必要的修正,这样就可以在保证安全供电的基础上大大地减少高压停电次数。

将变电站的操作电源直接引至滤池控制室,通过逆变后供 PLC 备用,一旦发生停电,PLC 就可在人工关闭 DN1 000 进水阀的 20 min 时间内维持滤池正常工作(保存在气压罐中的压力为 0.6~0.73 MPa,因泄漏量极小,故不会因空压机没有交流电而影响气动闸阀工作)。

因为每组滤池均由一个气动提板闸、一个搅动流气动进水阀和一个反冲洗气动排水阀组成,而每个闸阀动作时所需的 0.6~0.73 MPa 的压缩空气是由相应的电磁阀来控制。原设计只考虑了其本身的安全性而忽略了其他因素。如果能在生产系统出现问题时(自控本身除外),PLC 将 8 组滤池的气动提板闸、搅动流气动阀和反冲洗气动排水阀的输出由原来的“000”改为“100”,也就是说气动提板闸除了在反冲洗时才由“1”变为“0”外,其他时间都维持在“1(开启)状态,这样便解决了滤池在故障时的溢水现象,也避免了关闭阀门可能造成的更大危害。需要指出的是,上述措施是建立在自控系统具有热备份的情况下才能实现的。

(沧州供水总公司 刘堪平 供稿)