

工程实例

# 云南昆明人工湿地冬季运行情况分析

卢少勇, 张彭义, 余刚, 祝万鹏, 向长生  
(清华大学 环境科学与工程系, 北京 100084)

**摘要:** 分析了位于滇池附近的某人工湿地在冬季的运行情况, 该湿地植物量为茭草: 9.53 t/a, 芦苇: 5.03 t/a。将枯萎的植物收割后, 新生的植物使得湿地仍有较好的污染物去除效果, 对氨氮、总氮、总磷、COD 和 SS 的平均去除率分别为 52.2%、45.3%、46.4%、43.2% 和 68.4%, 且能削减 85% 以上的污染负荷。

**关键词:** 表面流人工湿地; 冬季运行; 植物量

**中图分类号:** X703.1 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2006)12-0059-04

## Operation of a Kunming Constructed Wetland in Winter

LU Shao-yong, ZHANG Peng-yi, YU Gang,  
ZHU Wan-peng, XIANG Chang-sheng

(Department of Environmental Science and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

**Abstract:** The paper documents the operation in winter of a constructed wetland beside the Dianchi Lake. The plant mass in the wetland is approximately 9.53 tons/year for *Zizania caduciflora* and it is 5.03 tons/year for *Phragmites australis*. After the harvest of withered plants, the newly grown plant can still efficiently remove pollutants. The average removal efficiencies for ammonia nitrogen, total nitrogen, total phosphorus, COD and SS are 52.2%, 45.3%, 46.4%, 43.2% and 68.4% respectively. However, more than 85% of the pollutant load in the influent are removed by the wetland due to the loss of wastewater flow.

**Key words:** surface flow constructed wetland; operation in winter; plant mass

人工湿地是 20 世纪 70 年代末发展起来的一种污水处理技术, 具有效率高、投资低、运转费用低及维护工作较少的特点, 是一种很有应用前景的污水处理技术<sup>[1,2]</sup>, 目前其在农村面源污染控制方面的研究与应用也得到了重视。湿地的运行效果受季节影响较大, 冬季气温较低, 植物生长缓慢或枯萎、死亡, 可能对湿地的处理效果造成不利影响。在云南

滇池岸边建设了一块示范性湿地, 面积约为 2 800 m<sup>2</sup>, 主要处理农业排灌水和部分生活污水。

### 1 湿地概况

该表面流人工湿地位于昆明市呈贡县大渔乡新村, 与滇池仅隔一条沟渠 (宽为 2.5 m) 和一条马路 (宽为 4 m)。湿地种植芦苇和茭草, 伴生少量的水花生、菖蒲、水芹、红廖等。该湿地于 2002 年 3 月建

成,4月开始运行。

湿地进水以农田排灌水为主,夹杂少量生活污水。由于此间降水极少,湿地灌溉用水来自滇池,即从滇池抽水输送到农田,抽水日数 非抽水日数 = (2 3) ~ (3 2),抽水日的平均流量为非抽水日的 10倍以上。抽水日内水量随时间变化明显,水量高峰集中于 11:30—13:30和 18:00—20:00。

湿地有关设计参数:床面积为 2 800 m<sup>2</sup>,最高运行水位为 0.24 m,平均水力停留时间为 4.23 d,流程(漫流)为 45 m。Campbell<sup>[3]</sup>总结认为湿地中成熟植物的茎叶体积约占 25%,由于湿地所在地区植物生长茂密,估计浸没的茎叶体积占湿地容积的 30%。

分别在湿地进水堰和出水堰采样,COD、总氮、氨氮、总磷和 SS的测定采用标准方法。用仪器测定 DO、pH值、电导率和温度(HACH sensDN<sup>TM</sup>便携式电化学计和电导率、pH和 DO电极)。进水流量由安装在进水堰的超声波流量计计量,出水流量由安装在出水堰的水表计量。

## 2 结果与讨论

### 2.1 湿地植物生长状况

1月份种植茭草和芦苇根茎,开始时茭草的长势明显优于芦苇,但 2~3个月后芦苇长得更高,到 5月份长势茂密;自 8月底起植物开始逐渐枯萎,逐渐形成一定的枯枝落叶层。11月底至 12月初进行植物收割,收割后残茎距离地面 15 cm。收割后第 7天发现有新枝从老根中长出。芦苇和茭草的株高、分蘖数、生物量、含水率、氮和磷含量等测定结果见表 1。

表 1 湿地植物的有关参数

Tab 1 Parameters of plants

日期	5月		12月	
	茭草	芦苇	茭草	芦苇
分蘖数	3	1	5	3
最大株高/m	0.98	1.41	2.67	3.05
生物量(湿重)/(kg·m <sup>-2</sup> )	2.77	2.55	6.81	3.59
含水率/%	73.5	68.2	54.3	64.0
硝态氮/(g·kg <sup>-1</sup> )	0.37	0.49	0.22	0.29
凯氏氮/(g·kg <sup>-1</sup> )	11.25	18.01	6.75	10.81
总氮/(g·kg <sup>-1</sup> )	11.62	18.51	6.97	11.11
总磷/(g·kg <sup>-1</sup> )	5.29	1.97	3.17	1.18
总钾/(g·kg <sup>-1</sup> )	28.98	21.47	17.39	12.88

由表 1可见,茭草的含磷量高于芦苇,而芦苇的

含氮量高于茭草。植物氮中凯氏氮 >96%。冬季植物含水率低于夏季,此差异和生长期有关,5月处于雨季(潮湿),而 12月处于旱季(干燥)。有文献报道<sup>[4]</sup>,如果冬季直立枝叶部分的干质量等于同年夏季活生物量的干质量,那么冬季的地上部分库存营养物量大约比夏季的地上部分库存营养物量低 40%。依此计算得到 12月份的营养物浓度值(见表 2)。

表 2 湿地植物地上部分实际营养物  
库存量与文献值的比较

Tab 2 Comparison of nutrient storage by aboveground part of plants in constructed wetland in the present study and in the literature g·m<sup>-2</sup>

项目	总氮	总磷	总钾
5月的茭草	8.53	3.88	21.27
5月的芦苇	15.01	1.60	17.41
12月的茭草	21.69	9.87	54.12
12月的芦苇	14.36	1.53	16.65
文献值 <sup>[4]</sup>	8.5~84.0	0.33~13.0	6.11~71.6

注:文献值为相关文献中关于芦苇的营养物含量数值,茭草的少见报道。

由表 2可见,芦苇的总氮、总磷和总钾量均在文献报道的范围内。单位面积茭草的总氮、总磷和总钾含量高于芦苇。

收割植物去除的营养物量见表 3。

表 3 收割植物去除的营养物量

Tab 3 Amount of nutrients removed through plant harvest kg·hm<sup>-2</sup>·a<sup>-1</sup>

项目	硝态氮	凯氏氮	总氮	总磷	总钾
南湿地茭草	6.9	210	217	98.7	541
南湿地芦苇	3.8	140	144	15.3	166

注:每年仅在植物成熟时收割一次。

若仅在植物成熟时收割一次,假设湿地中茭草和芦苇覆盖率恰好各占 1/2,那么湿地的植物产量茭草:9.53 t/a,芦苇:5.03 t/a。

Vymazal等<sup>[5]</sup>(1998)总结得到收割挺水植物能去除的营养物量约为 30~150 kgP/(hm<sup>2</sup>·a<sup>-1</sup>)、200~2 500 kgN/(hm<sup>2</sup>·a<sup>-1</sup>)。表 3数据表明,通过芦苇和茭草的收割可从湿地去除的氮、磷量超出此范围,尤其是磷;且由茭草带出系统的氮、磷比芦苇的大。其原因在于:一方面湿地所在地区的气候条件好,生物量大;另一方面 12月茭草的长势特别好,相同面积茭草的产量为芦苇的 1.9倍。

冬季植物收割后能迅速新生,由此可推测增加

收割次数可增加因植物收割而带来的营养物去除量,但需一定的收割费用。

2.2 湿地进、出水的理化参数

湿地进出水的温度、DO、pH值、电导率和水量见图 1和表 4。图 1为 12月 22日测定的湿地沿程的 pH值、温度和 DO变化规律,表 4为冬季 3个月的数据。湿地沿程的 pH、温度、DO变化规律是在湿地流量计南侧 30 m处从东到西一直到出水堰(共 50 m)处测得的,结果表明温度每升高 1.9 ,pH值升高 0.71;湿地的前 1/5段的 DO值降低迅速,之后逐渐回升。

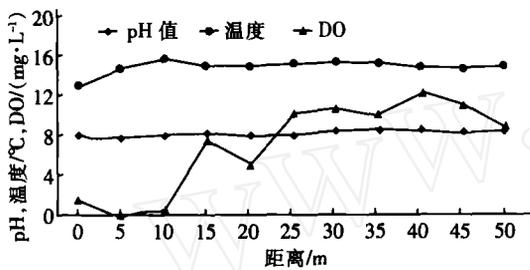


图 1 湿地沿程理化参数变化曲线

Fig 1 Variation of physicochemical parameters along the constructed wetland

表 4 湿地进、出水的理化参数

Tab 4 Physicochemical parameters of the influent and effluent

项目	流量 / (m <sup>3</sup> · d <sup>-1</sup> )	温度 /	DO / (mg · L <sup>-1</sup> )	pH	电导率 / (μS · cm <sup>-1</sup> )	
进水	最大值	382.9	17.2	3.90	7.9	676
	最小值	5.2	10.0	0.21	6.5	648
	平均值	135.0	13.1	1.68	7.3	658
出水	最大值	105.4	18.7	10.31	8.4	688
	最小值	0	11.3	5.53	7.3	656
	平均值	33.6	14.4	8.28	7.9	662

由表 4可见,湿地平均出水温度比进水高 1.3 ,出水电导率和 pH值均略高于进水,系统出水的 DO值明显高于进水的。

湿地出水平均温度比进水高,说明湿地具有较好的保温效果,这可能是土壤表层的淤泥烂叶层的发酵产热加之流量较小而流速缓慢所致。

系统出水电导率和 pH均略高于进水,主要由于降雨量极小而日照强烈以及植物的生理活动等导致了系统基质离子的释放和酸碱条件的变化。而 Martin<sup>[6]</sup>等报道在 BootWTS湿地的 9年中,pH和电导率的平均值沿着湿地降低,是由于降雨的稀释、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>的同化以及腐殖酸和富里酸的形成。在自然柏树坡面中典型的 pH和电导率值分别为 4.5和 <

100 μS/cm。

系统出水的 DO值明显高于进水,一方面是污染物降解时消耗氧气而导致 DO浓度降低;另一方面是植物根系供氧和大气复氧作用导致 DO值上升。从图 1可知,DO值先降低后升高,说明耗氧作用在湿地前段发生得剧烈一些。Vymazal等<sup>[5]</sup>报道 Lawson于 1985年根据不同的根的大小、数量和渗透性等,计算出芦苇从根释放的氧气流量可能为 4.3 g/(m<sup>2</sup> · d)。其他研究者利用不同的技术,估计从芦苇根部释放的氧气为 0.02、1~2以及 5~12 g/(m<sup>2</sup> · d)。实际监测的 DO数据表明,即使在植物枯萎期,由于收割后植物新生枝叶的光合作用使得其根系仍具较强的释氧能力,且收割后植物覆盖度降低,大气复氧作用增强。

出水平均流量只有进水的 25%左右,此间基本无降雨,土壤水分蒸发、蒸腾损失总量和渗漏量(包括下渗和侧渗)占进水的 70%以上。J. R. Martin<sup>[6]</sup>等报道位于佛罗里达州的湿地,1990年的出水量为进水的 29.5%左右。

2.3 湿地污染物去除效果

Werker等(2002)<sup>[7]</sup>指出构造湿地如同其他废水生物处理工艺一样,对污染物去除率是波动的,北美构造湿地的污染物去除率:对有机物为 50%~90%,对 SS为 40%~94%,对氮为 30%~98%,对磷为 20%~90%。该湿地自 4月开始运行,冬季的去除效果与负荷见表 5、6。

表 5 冬季湿地运行数据表

Tab 5 Operation data of constructed wetland in winter

项目	总氮	氨氮	总磷	COD	SS	
进水 / (mg · L <sup>-1</sup> )	平均	8.93	2.65	0.84	138.74	33.5
	最大	30	5.67	4.56	412.15	45.6
	最小	1.81	1.07	0.19	33.39	5.82
出水 / (mg · L <sup>-1</sup> )	平均	4.27	1.45	0.45	78.77	10.6
	最大	16	4.83	1.06	163.04	18.3
	最小	1.31	0.63	0.12	15.53	4.35
平均去除率 / %	52.2	45.3	46.4	43.2	68.4	

表 6 冬季湿地污染负荷

Tab 6 Pollutant load of constructed wetland in winter

项目	总氮	氨氮	总磷	COD	SS
进水负荷 /kg	108.50	32.20	10.21	1685.69	407.03
出水负荷 /kg	12.91	4.38	1.36	238.20	32.05
去除负荷 /kg	95.59	27.81	8.85	1447.49	374.97
负荷削减率 / %	88.1	86.4	86.7	85.9	92.1

根据 Werker 等 (2002)<sup>[7]</sup> 报道,在温度为 10 ℃ 左右硝化速率受到抑制,在温度 <6 ℃ 时速率迅速降低到零;在 5 ℃ 时检测到了反硝化速率。湿地进水和出水的平均温度分别为 13.1 ℃ 和 14.4 ℃,反硝化的最佳 pH 范围为 7~8,硝化的最佳 pH 范围为 7.5~8.6,湿地系统的 pH 范围为 6.5~7.9,由于不处在硝化和反硝化的最佳范围,因此对氨氮的去除率不高。湿地对 COD 的去除率偏低,这是因为进水 COD 浓度偏低,平均为 138.74 mg/L,此外湿地中残存的枯萎植物腐败导致有机质溶出,使得 COD 升高。

从系统的负荷削减率来看,湿地能够削减来水负荷的 85% 以上,主要是当地土壤水分蒸发、蒸腾损失水量和渗漏交换水量较大,导致出水流量远小于进水流量。

### 3 结论

在冬季平均水温较高的地区,枯萎植物收割后的湿地仍具有良好的污染物去除效果,来水负荷削减 85% 以上,对总氮的去除率为 52.2%。由于进水 COD 浓度偏低,且残存枯萎植物溶出有机质,故对 COD 的去除率偏低。通过收割茭草去除的磷高于文献报道值,通过收割芦苇去除的氮、磷以及通过收割茭草去除的氮在文献报道的范围内。

### 参考文献:

- [1] 吴晓磊. 人工湿地废水处理机理 [J]. 环境科学, 1995, 16(3): 83 - 86
- [2] Harbel R. Constructed wetlands: a chance to solve wastewater problems in developing countries [J]. Water Sci Technol, 1999, 40(3): 11 - 17.
- [3] Campbell C S, Ogden M H. Constructed Wetlands in the Sustainable Landscape [M]. John Wiley & Sons, Inc, 1999.
- [4] Vymazal J, Dušek J, Květ. Nutrient Cycling and Retention in Natural and Constructed Wetlands [M]. Leiden: Backhuys Publishers, 1999.
- [5] Vymazal J, Brix H, Cooper P F, et al. Constructed wetlands for wastewater treatment in Europe [M]. Leiden: Backhuys Publishers, 1998.
- [6] Martin J R, Keller C H, Clarke R A, et al. Long-term performance summary for the Boot Wetland Treatment System [J]. Water Sci and Technol, 2001, 44 (11 - 12): 413 - 420.
- [7] Werker A G, Dougherty J M, McHenry J L, et al. Treatment variability for wetland wastewater treatment design in cold climates [J]. Ecol Eng, 2002, 19(1): 1 - 11.

电话: (010) 62773519 x809

E-mail: lushy2000@163.com

收稿日期: 2003 - 09 - 18

· 信息 ·

## 西门子公司工业无线以太网规划与配置工具软件发布

SCALANCE E 是集设计无线局域网开发、调试、维护、扩展等于一体的工程软件。其中 NEMA E 是具有所有网络管理功能(如网络规划、网络配置、设备监测和以太网设备控制)的 SMATIC NET 的产品系列中的一项新产品。SNEMA E 2006 软件功能包括:

无线网络规划。无线局域网配置,以及根据需要优化天线配置,当更好的替代品出现时只需更换硬件即可。

仿真。能够对预先计划和描述好的无线局域网所在的环境进行反射、衰减和干扰等因素进行仿真。分 4 种情况:信号强度仿真、数据速率仿真、有用信号仿真、信号与噪音的比率以及接入点的重叠仿真。

配置。SNEMA E 能够脱机设置 SMATIC NET 无线局域网,并且能够储存这些数据。为了快速持久地配置共同参数,很多设备能够被整合成一个组进行统一管理。SNEMA E 能够在线或者在站点上自动确定所有 SMATIC NET 无线局域网设备,为他们提供基本参数,如 IP 地址等。初始的试运转能够从同一以太网子网络的任何一点开始,其后更进一步的无线通讯和安全参数也能够从其他子网络的配置设备中传输过来,而只需按下一个按钮。

文件编制。通过安装者的装机说明和网络安装最后阶段的试运转工程,文件编制功能能够被应用于销售成本计算。

计划与模拟仿真。SNEMA E 能够被应用于系统配置及随后的无线局域网的详细计划,能够考虑由于不同国家的不同法律、规范而导致的细节问题,而对传输功率、频率等的差异做针对性的描述。在计划编制阶段,在任何环境(如多用办公楼、工业大厅或者户外)都能够通过整合工具进行现场信号强度的模拟。

(本刊编辑部)