

污水芦苇湿地处理系统示范工程的研究*

丁 廷 华

(北京市环境保护科学研究所, 北京 100037)

摘要 该示范工程处理水量 $500\text{m}^3/\text{d}$, 在水力负荷为 $5\text{cm}/\text{d}$ 条件下, BOD_5 、SS、总氮和大肠杆菌的去除率分别为 85.8%、93.8%、64.6% 和 99.9%。出水平均值分别为 $17.8\text{mg}/\text{L}$ 、 $17.0\text{mg}/\text{L}$ 、 $5.1\text{mg}/\text{L}$ 和 <8.1 个/100ml。系统运行稳定, 抗冲击负荷能力较强, 投资和运行费用仅是常规二级处理的 $1/2-1/5$ 。本文还研究了该系统对污水中主要污染物的去除机理和反应动力学。对工程的设计参数和技术参数进行了优化筛选, 建立了湿地生态模式。

关键词 芦苇湿地处理系统, 湿地生态模式。

芦苇湿地处理系统是污水土地处理的一种工艺, 是介于土地处理和水生生物处理之间的自然污水处理系统。在运行中污水缓慢流过生长植物的地表, 土壤支撑植物, 植物光合作用产生氧气, 向土壤和水中传输, 污染物在水和土壤中净化, 因此兼有土地处理和水生生物净化的特点。这种处理方法是基于生物圈内有机物、水和无机物营养素可以无限循环的原理, 是一种利用自然条件进行人工调控的技术。它能经济、高效地去除水中污染物。本文所述的污水芦苇湿地示范工程建于北京市昌平区东郊, 处理水量 $500\text{m}^3/\text{d}$ 。研究内容包括: 芦苇湿地植物生长规律, 提高产量和品质的途径, 研究最佳负荷、预处理、冬季运行、水质净化效果、工艺参数和相应的工程结构, 以及该工艺的环境影响和控制方法, 污水土地处理其它技术类型和水生净化系统的平行试验。经过两年实验研究取得了大量实验数据和参数, 为在我国推广应用污水芦苇湿地处理方法提供了有益的参考。

处理程度, 确定污染物负荷、停留时间、水深和所需的土地面积等技术参数, 最后选择适合的布水和集水系统及再利用系统。人工湿地的设计程序见图 1。

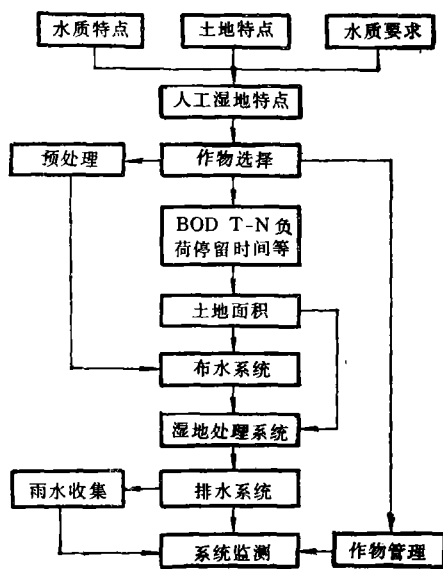


图 1 人工湿地系统设计程序图

一、芦苇湿地的设计与建设

芦苇湿地中有机物、硝化反应、无菌和吸附作用都遵循一级反应动力学, 其处理效果受停留时间、水力负荷、降雨、蒸散和污染物负荷等参数的影响。

(一) 设计程序

设计前要确定污水水质和出水要求, 土地特征是否适合于湿地系统。其后选择植物和预

(二) 水质要求

污水来自北京市第二毛纺厂工业废水和昌平卫星城部分生活污水。1989年4—6月对该污水进行了三个月的常规监测, 根据污水的水量和水质, 确定了示范工程的进出水设计值(表1)。

* 获北京市科技进步二等奖。参加该项工作的还有王绍堂、段振勃、秦宵黎、李汝琪、郇尔竞和杨丽萍。
收稿日期: 1991年4月30日。

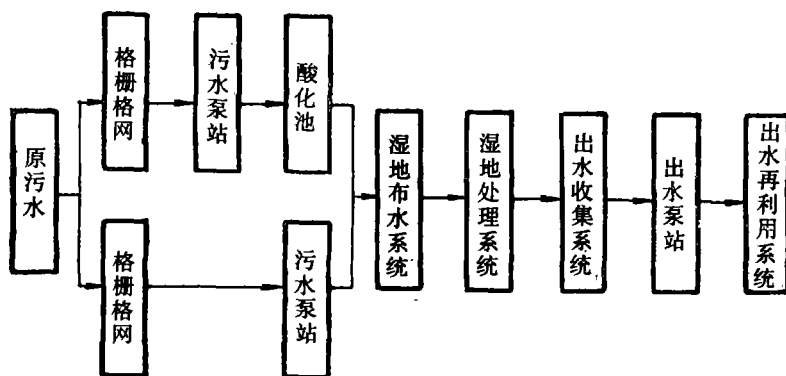


图2 芦苇湿地处理系统工艺流程图

表1 芦苇湿地系统水质设计参数

项目	污水浓度范围	进水设计值	出水设计值
BOD ₅ (mg/L)	17—430	120	≤20
COD(mg/L)	70—1050	350	≤120
TSS(mg/L)	15—500	150	≤20
T-N(mg/L)	8—55	20	≤5
进水流量 (m ³ /d)		500	
出水流量 (m ³ /d)			300

(三) 工艺流程

芦苇湿地的工艺流程见图2。工艺设计分为有预处理和无预处理两种工艺路线。预处理采用酸化水解池,停留时间为3h。湿地采用穿孔管布水,出水经排水沟汇入集水池中,供出水再利用系统使用。

(四) 设计计算

1. 水力停留时间

$$t = \frac{\ln c_0 - \ln c_e + \ln A}{65K_T} \quad (1)$$

式中, t ——水力停留时间(d);

c_0 ——进水 BOD₅ 浓度 (mg/L);

c_e ——出水 BOD₅ 浓度 (mg/L);

A ——BOD₅ 在系统最初几米不沉降部分;

K_T ——受温度影响的速度常数, $K_1 = 0.0024$ 。

经计算,温度为5℃时停留时间为7.3天。

2. 土地面积

$$A_s = \frac{Q(\ln c_0 - \ln c_e + \ln A)}{65(K_T)(d)} \quad (2)$$

式中, A_s ——需要的土地面积(m²);

Q ——平均流量(m³/d),

$$Q = (Q_{进} + Q_{出})/2;$$

d ——水深(m),夏季 $d = 15$ cm, 冬季 $d = 3$ cm。

经计算,温度为20℃时所需的土地面积为0.82ha, 温度为5℃时所需的土地面积为0.97ha。

3. 水力负荷

$$L_w = \frac{Q}{L \cdot W} \quad (3)$$

式中, L_w ——水力负荷(m/d);

L ——芦苇湿地长度(m);

W ——芦苇湿地宽度(m)。

经计算,系统水力负荷为0.047m/d。

二、实验结果与讨论

(一) 实验结果

芦苇湿地示范工程于1989年5月开始试运行,8月正式运行,时间为13个月,每周两次对系统的进出水进行常规分析,主要污染物的总去除效果列于表2中。实验结果表明,湿地系统的出水水质相当于常规二级处理出水水质,并具有较好的除氮效果。图3为进出水BOD₅、COD、SS、TOC、总氮和氨氮的浓度,图4为进出水大肠杆菌的浓度。

(二) 讨论

1. 有机物的去除

具有沉降性的有机物在湿地系统中通过静

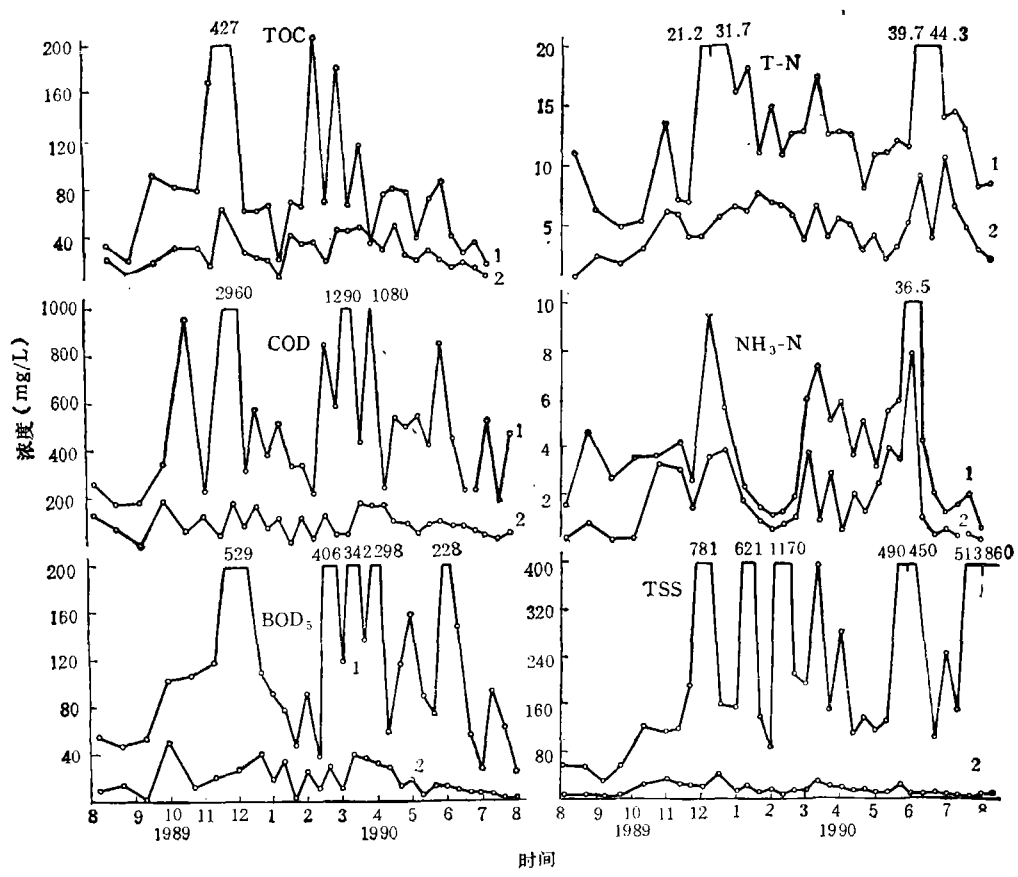


图 3 芦苇湿地系统进出水 BOD₅、COD、TSS、TOC、T-N 和 NH₃-N 的浓度
1. 进水; 2. 出水

表 2 芦苇湿地处理系统的总去除效果¹⁾(mg/L)

项目	平均进水浓度	平均出水浓度	去除率 (%)
BOD ₅	125	17.8	85.8
COD	547	103	81.2
TOC	76.7	28.2	63.2
SS	275	17.0	93.8
T-N	14.4	5.10	64.6
NH ₄ ⁺ -N	4.80	1.95	59.4
NO ₃ ⁻ -N	2.13	0.57	75.3
T-P	0.94	0.42	55.1
大肠杆菌(个/100ml)	8.0×10 ³	<8.1	99.9

1) 表中数据为全年平均值,不包括预处理部分。

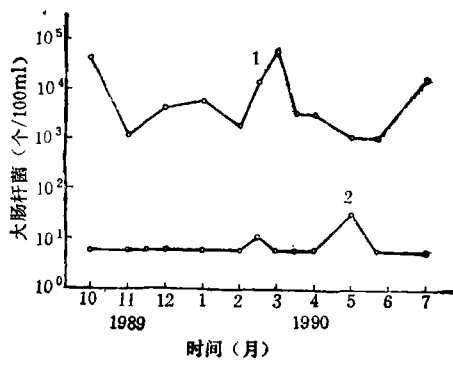


图 4 芦苇湿地的进出水大肠杆菌浓度
1. 进水; 2. 出水

置,沉积和过滤可很快被去除,对于可溶性有机物通过微生物的粘附和代谢而除去。示范工程中,大约有 50% 左右的 BOD₅ 和 COD 在进水 5m 的距离内迅速降解,大约有 90% 的 SS 在进水 10m 以内沉降。随着距离的增加,降解速度

逐渐降低,随后是可溶性有机物的缓慢降解。

2. 氮的去除

氮是通过硝化与反硝化反应、挥发及植物吸收而被去除的。

氮在湿地系统中呈现一个复杂的生物地球

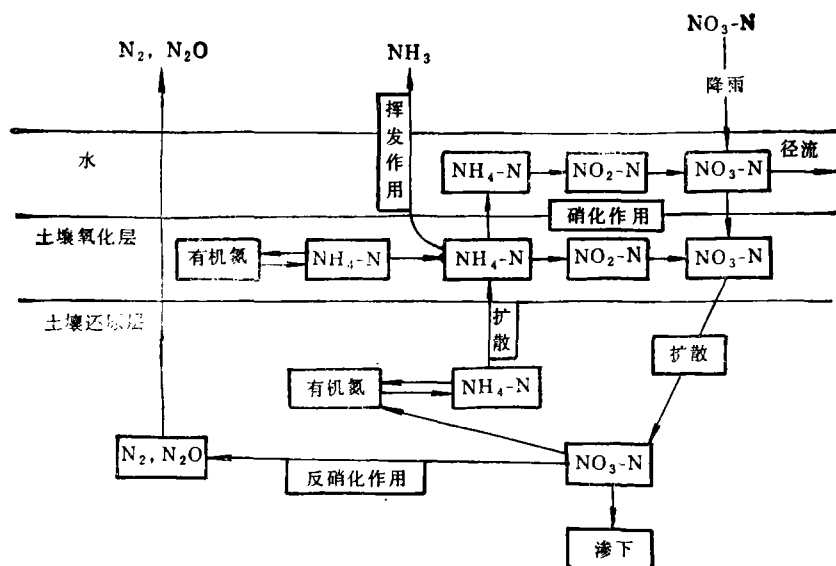


图 5 湿地系统中氮循环示意图

表 3 湿地系统冬季与夏季去除率的比较(%)

项 目	BOD ₅	SS	总氮	氨氮	大肠杆菌
夏季去除率(4—11月)	85.9	93.7	65.8	66.6	99.9
冬季去除率(12—3月)	84.4	94.0	60.5	43.0	99.9

化学循环,包括七种价态(+5—-3)的多种有生命和无生命的转换。氮的转化是受土壤氧化还原特性的影响和微生物分解的复杂过程,图5是湿地土壤中氮转换示意图。大多数被淹没土壤在其表面都存在一个薄氧化层,这是由于接近大气。在这一层中, $\text{NH}_4\text{-N}$ 被硝化细菌氧化为 $\text{NO}_3\text{-N}$ (硝化作用)。还原过程主要在这一层下面发生。硝化作用只改变了氮的形态,反硝化作用是氮去除的主要途径,它受氧化还原电位、pH值、温度、湿度和碳源的控制。

3. 痕量挥发性有机物的去除

芦苇湿地系统对痕量挥发性卤代物有较好的去除效果,二氯乙烯、三氯甲烷,二氯乙烷和四氯化碳在湿地中的去除率分别为82.7%、90.5%、76.2%和80.0%,平均出水浓度分别为 $0.09\mu\text{g/L}$ 、 $0.08\mu\text{g/L}$ 、 $0.66\mu\text{g/L}$ 和 $0.004\mu\text{g/L}$ 。

4. 氨氮的去除

在冬季氨氮的去除率低于夏季(见表3)。

这是由于冬季气温低,湿地处理床的后半部结了厚厚的一层冰盖,因而阻止了氧气的输入,产生了厌氧条件,抑制了硝化反应,导致冬季氨氮的去除效果下降。

三、生态效益与经济分析

(一) 生态效益

芦苇湿地示范工程是一个完整的生态系统,系统内部生物体和非生物体间可以进行连续的能量和物质的交换。与一般农业生态系统不同,它是以污水处理为目标,包括资源再生和再利用的良性循环系统。芦苇湿地生态系统中的所有因素之间都是相互联系的,互为因果关系。图6为系统内各因素之间的反馈关系。湿地处理系统的出水输入鱼塘,供给鱼和鸭子;鸭子的粪便供给鱼作为饲料;鱼的粪便作为浮游生物的营养供给鸭子食用;鲜嫩芦苇可作为牛、羊的青饲料;牛、羊和猪的粪便经发酵后,进入种

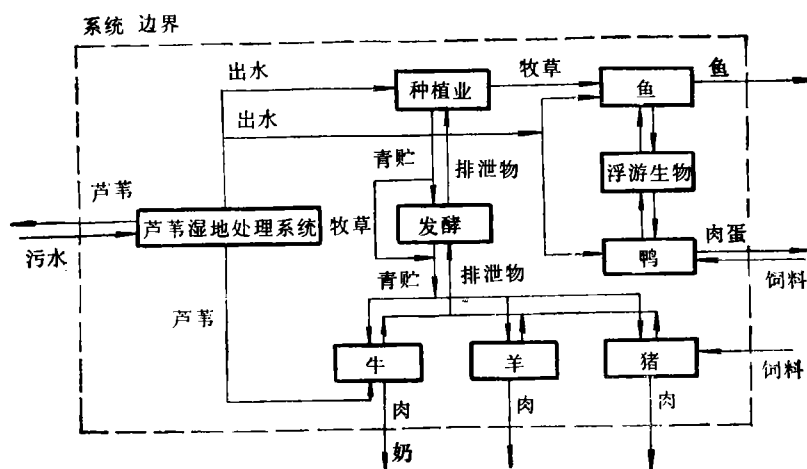


图6 湿地生态系统内各因素之间的反馈关系

植田中作为肥料；种植业的玉米可作为牛、羊的青贮饲料贮存起来，冬季喂养牛羊，牧草作为夏季饲料。整个系统中除猪和鸭需要输入部分饲料外，其它都是内部循环。系统向外输出的有：作为造纸和建筑原料的芦苇、猪、牛、羊、鱼、鸭、牛奶、鸭蛋和蔬菜。

系统每年可提供芦苇 30 吨(风干重)，可造纸 13 吨，可编苇箔或苇席 6000—10000m²，若用鲜嫩芦苇喂牛，可喂养奶牛 5—6 头。

芦苇湿地处理出水可养鱼和养鸭，每年产鱼 4000kg，鸭 750kg。出水种植蔬菜和青贮饲料，可产出青贮饲料 6000kg，蔬菜 4000kg。

饲养牛、羊和猪每年可为种植田提供有机肥料 60000kg，折合氮 440kg、磷 248kg、钾 570kg。

(二) 经济分析

示范工程总基建投资为 5.13 万元，平均每处理一立方水的基建投资费用为 102.6 元。土地补偿费每年为 1.2 万元。

湿地系统每年电费为 0.40 万元。设备折旧费、检修费、人工费和常规化验费合计 1.24 万元，每年收获芦苇的产值为 0.93 万元。芦苇湿地处理系统的年运行费用为 1.18 万元，污水处理成本为 0.065 元/m³，平均处理每立方米污水的耗电量为 0.168kWh/m³。

四、结 论

1. 污水芦苇湿地系统的处理效果可达到或超过常规二级处理水平，系统对 BOD₅、SS、氮、大肠杆菌和痕量挥发性有机物都有较好的去除效果。当冬季气温降至零度以下时，BOD₅、SS 和大肠杆菌的去除率无明显差异，而氨氮的去除率冬季低于夏季。

2. 湿地中停留时间和水力负荷是关键的设计参数。试验表明，芦苇湿地的水力负荷应在 6cm/d 以下，有机负荷应在 80kg/ha·d 以下，最佳停留时间为 4—6 天。

3. 在芦苇湿地系统中，芦苇产量与普通芦苇的产量相比高出 4—5 倍，湿地芦苇纤维素含量比普通芦苇高 10%。这是由于芦苇湿地系统可充分利用污水中的水肥资源。湿地中芦苇每年去除营养物的量为：氮 24.1kg/亩，磷 3.98kg/亩，钾 20.0kg/亩。

4. 湿地中氮的去除以反硝化反应为主，应适当调节水中的溶解氧，控制硝化和反硝化反应的进行，使去除达到最佳状态。试验还对土壤性质的改变，流体力学方面等反应机理进行了初步研究。芦苇湿地系统不适应处理高浓度重金属污水，进入湿地系统的重金属含量应加以限制。

5. 芦苇湿地系统是一个完整的生态系统,它形成了内部的良性循环,并具有一定的经济效益。其基建费用和运转费用是常规二级处理的1/2—1/5,并具有常规二级处理难以达到的脱氮、脱磷作用。芦苇湿地处理场地可利用干涸河道、沙滩、荒地、既处理了污水,又美化了环境。因此可以说,芦苇湿地示范工程是一个投资低、运行费用低、处理效果高、适用性广的污水处理方法。

参 考 文 献

- 1 U S EPA Office of Research and Development, *Constructed Wetlands and Aquatic Plant Systems for Municipal*

Wastewater Treatment. Center for Environmental Research Information, Cincinnati, OH, 1988: 15—45

- 2 Zirshky J, Deemer D D. *Basic Design Rational for Artificial Wetlands*, U S EPA, Washington, D C, 1986: 29—53
- 3 Brix H. *Wat. Sci. Tech.*, 1987, 19: 107
- 4 Reed S C et al. *Natural Systems for Waste Management and Treatment*, McGraw-Hill Book Co. NY, 1987: 164—201
- 5 EPA. *Process Design Manual for Land Treatment of Municipal Wastewater*, U S EPA Center for Environmental Research Information, Cincinnati, OH, 625/1-81-013, 1981
- 6 辽宁省林业土壤研究所. 环境污染与生物净化, 北京, 科学出版社, 1976: 56—59
- 7 农业技术经济手册编委会. 农业技术经济手册, 北京, 农业出版社, 1984: 105—113
- 8 芦苇编写组. 芦苇, 北京, 轻工业出版社, 1987: 28—60

上海桃浦工业区环境质量评价研究*

高 伟 生

(华东师范大学地理系, 上海 200062)

宇 振 东

(中国科学院生态环境研究中心, 北京 100083)

摘要 本研究在污染源调查、现场监测基础上,运用主成份因子分析赋权法,对本区大气、地面水、地下水、土壤、蔬菜、人群健康六个要素进行单项评价;运用六个环境要素 P_{ij} 值的空间分布值进行环境质量综合评价;运用实物型投入-产出模型进行系统分析及预测;运用目标规划法进行工业区环境-经济系统优化选择,在此基础上提出经济发展与污染控制的多目标优化方案。

关键词 环境质量评价, 目标规划, 优化选择。

一、概 况

上海市桃浦工业区地处上海嘉定县东南部桃浦乡内,它与周围地区组成的桃浦地区总面积约 18km^2 (2.7 万亩),属太湖流域平原生态环境。纵观本区自然环境条件,具有以下特点:①地势平坦,人工栽种作物低矮,风速较大,有利于大气污染物的扩散、稀释;②河网稠密、地下水位较高,降水量丰富,水体环境容量较大;③土壤呈中性,团粒结构较好,有利于污染物在土壤中固定,相对减少了在植物中迁移积累;④生态系统结构简单,对外界污染物侵袭的反应较为敏感。

本区是五十年代以来逐步建立和发展起来

的上海重要的医学、化工工业基地。现有市属工厂 33 家,占地面积 1.6km^2 ,计划在 1990 年前还要从市区迁进 13 家工厂。桃浦乡还是上海郊区的主要蔬菜生产基地之一。长期以来,由于工业迅速发展、治理措施不力,大量“三废”排入环境,地下管道塌陷渗漏、年久失修,致使本区地面水、地下水、大气、土壤、蔬菜等遭受严重污染。

本研究旨在摸清现状、预测未来的基础上,对桃浦地区的经济发展与污染控制提出对策措施。

* 本研究获上海市科技进步三等奖

收稿日期: 1991 年 7 月 17 日

Study on the Sanitary Programme for the Migration Plan in the Hydro-conservation Project of the Yangtze River. Lu Shengye, Chen Jingquan, Jiang Ling, Yang Xiaoping(Institute of Environmental Medicine, Tongji Medical University and National Environmental Agency); Han Yufu, Liu Qinghua (Sanitary and Anti-epidemic Station of Zi Gui County, Hubei). *Chin. J. Environ. Sci.*, 13(2), 1992, pp.2—7

According to the three gorge project, Gui Zhou town which will be flooded and have the largest migration population and Maoping town into which the migrants will move were chosen as the objects of the study of sanitary programme for the migrants. Investigations were carried out on natural environment, medical background, sources of sanitary water and population health etc. In the mean time, the content of iodine, fluoride, hardness in water and γ -ray intensity in rooms were measured. The method of serological epidemiology was used to examine the health condition of the original population of 48000 and the migrants of 11000. On the basis of a great number of examination and monitoring, sufficient medical information has been provided for working out a sanitary programme and taking measures for disease prevention.

Key Words: hydro-conservation, project of the Yangtze River, sanitary plan for migration.

Study on an Exemplary Project of Wetland Waste Water Treatment. Ding Tinghua (Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection): *Chin. J. Environ. Sci.*, 13(2), 1992, pp. 8—13

The exemplary project under study possessed a capacity for treating 500m³ of municipal and industrial waste water a day.

The study demonstrated that the average removal rates for BODs, SS, total nitrogen and coliform could reach 85.8%, 93.8%, 64.6% and 99.9% respectively, at a hydrolic loading rate of 5cm/d. The average effluent concentration of BODs, SS, total nitrogen and coliform were 17.8 mg/L, 17.0 mg/L, 5.1 mg/L and <8.1/100 ml, respectively. The total operation cost of this system accounted for only 1/5—1/2 of the cost of conventional sewage treatment processes. Studies on the mechanism and kinetic of the reactions involved in the process were also carried out. The design and technique parameters of the project were screened and optimized and a wetland ecological model was built.

Key Words: constructed wetland system, wetland ecological model, waste water treatment.

A Study on the Assessment of Environmental Quality in Taopu Industrial District, Shanghai. Gao Weisheng(Department of Geography, East China Normal University, Shanghai); Yu Zhendong(Research Center for Eco-Environmental Sciences, Academia Sinica); Xiang Lei (Institute of Environmental Protection Anhui Province): *Chin. J. Environ. Sci.*, 13(2), 1992, pp 13—18

Taopu Industrial District, located in the northwestern suburbs of Shanghai, was established in the 1950s and has gradually developed into an important base of pharmaceutical and chemical industries of Shanghai. Because of rapid growth of industry and ineffective control of pollution, the environment of the district has long been endangered. Based on the investigation of pollution sources and field monitoring, single-item assessments were made on 6 environmental elements, i.e. atmosphere, surface water, ground water, soil, vegetables and human health by using the principal component-factor analysis weighting method. Moreover, what was carried out includes the comprehensive environmental quality assessment by using Pij values of the 6 environmental elements; analysis and prediction of economic system by using real-object type input-output model; and optimized selection of environment-economic system by using goal programming approach. On this basis multi-goal optimization schemes about economic development and pollution control were worked out.

Key Words: environmental quality, simulated analysis, multi-goal optimization, forecast and decisions, pollution control.

Influence of GaAs, Ga³⁺ and Ge⁴⁺ in Waste Water from Semiconductor Material Production on DNA or RNA and Amine Acids in Activated sludge.

Liao Su (Zhejiang Economic Construction Investment Corp.), Ye Zhongjie (Zhejiang Agriculture University): *Chin. J. Environ. Sci.*, 13(2), 1992, pp.18—22

Influence of GaAs, Ga³⁺, Ge⁴⁺, Hg²⁺, Hg²⁺, and Cr⁶⁺ on DNA or RNA and that of GaAs on amino acid in activated sludge were studied. It was found that Hg²⁺ and Cr⁶⁺ mainly reduce the content of DNA and CaAs mainly reduces the content of RNA in activated sludge, respectively. Strong inhibition effect on the synthesis of either DNA or RNA was observed at concentrations of Ge⁴⁺ above 300 mg/L/gMLSS. Low concentration of GaAs did not exert considerable influence on the content of amino acid in the sludge, while high concentration of GaAs reduced the content of amino acid drastically.

Key Words: gallium arsenide, gallium, germanium, mercury, chromium, activated sludge, DNA, RNA, amino acids, DNA, RNA synthesis inhibition.

A Study on the Inference of Steady Theoretical Models and Parameter Estimation Models in the Process of AFBR. Xie Hanfang, Su Xi, Yang Zhirong (Liaoning Provincial Research Institute of Environmental Protective Science, Shenyang): *Chin. J. Environ. Sci.*, 13(2), 1992, pp. 22—26

Theoretical models of the degestion process of organic wastes in Anaerobic Fluidized Bed Reactor (AFBR) were inferred through simplifying the complex system and using the mass balance correlation and some experimental coefficients. Afterwards the theoretical models were linearized and the steady models for parameter estimation were deduced. The models have theoretical and practical significance in engineering and can be used in online control of AFBR.