

水解池-稳定塘工艺越冬技术措施研究*

许晓鸣 王凯军 陶 涛

(北京市环境保护科学研究所)

摘要 为提高污水稳定塘在冬季的处理效果,用水解池作为预处理措施,以降低有机负荷并改善污水的可生物降解性,因而提高了低温条件下的降解速率。通过对系统的热量平衡分析和技术经济分析,研究采用塑料大棚减慢稳定塘热量散失的措施。结合研究其它一些强化措施,提出了能适合北方地区冬季气候特点的稳定塘工艺流程。

关键词 稳定塘;降解速率;热量平衡;有机负荷。

由于稳定塘停留时间长、热损耗大,故冬季处理效果下降问题比其它生物处理工艺更为突出。其下降程度取决于气温条件和废水水温等因素。如何使氧化塘在冬季仍能达到一定的处理效果,使出水符合排放标准,是稳定塘在北方地区推广中的关键问题。

国内外在这个问题上的通行办法是采用“冬储夏排”。即在冬季整个冬季稳定塘只起污水库的作用,只进水不出水,待来年气温回升后再向外排放。这种措施在加拿大和北美一些高纬度地区应用较多^[1]。我国齐齐哈尔稳定塘也是采用这种方式越冬,并且获得了较好的出水水质。但是,这种方法需要很大的塘容积。在北纬 49—60 度的加拿大一些地区,冬季储水不放的时间在 190 天以上^[1]。我国齐齐哈尔市稳定塘冬季储水时间也达 120 天左右。显然,这种措施只适用于土地资源丰富的地区,在我国大多数地区,这种措施难以实现。

为了提高稳定塘在冬季的处理效果,我们采用水解池作为预处理措施^[2],可以改善进塘污水的可生物降解性,提高低温条件下的降解速率。同时,通过对系统的热量平衡分析和技术经济效益分析,研究了采用塑料大棚减慢稳定塘热量散失的措施。结合研究其它一些强化措施,提出了适合北方冬季气

候特点的稳定塘工艺流程。

一、工艺流程与实验条件

水解池-稳定塘系统的中试研究在北京市高碑店污水中试试验厂进行。取水点在高碑店中试厂的预处理出水处(在沉沙池后、初沉池前)。水解池-稳定塘系统的工艺流程如图 1 所示。

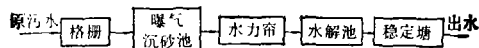


图 1 水解池-稳定塘系统工艺流程

水解池池容 170m³,停留时间 3h。稳定塘为四塘串连,总容积 144m³,平均水深 1m,在第 1、2、4 塘中养殖凤眼莲,第 3 塘采用藻菌系统以增加复氧。

实验共进行了六个月,实验期间月平均气温为 -5.2—12.3℃,最低气温 -16.5℃。实验所用的城市污水冬季平均水温 20℃,最低 16℃,最高 25℃。

二、试验结果与分析

1. 温度对水解池-稳定塘系统的影响

由于水解池停留时间短,池水较深使散热的表面积小,故气温对水解池水温影响不

* 国家“七五”科技攻关项目。

大。水解池进出水温差仅 2°C 左右。实验表明,城市污水水温的正常波动对水解池的去除率亦无明显影响(图 2)。这与在水解池中 COD、 BOD_5 、SS 的初期去除在很大程度上是与物理过程有关。

但是,稳定塘的处理效果受温度的影响

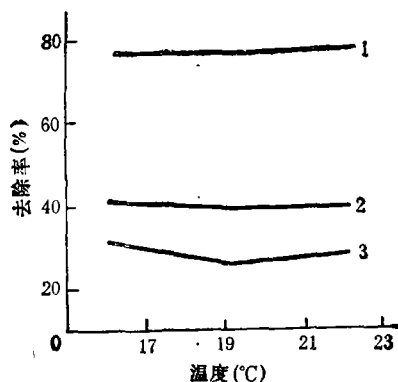


图 2 水温与水解池去除率的关系
1. SS 2. COD 3. BOD_5

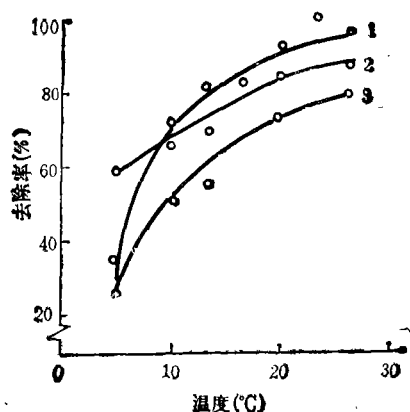


图 3 水温对稳定塘处理效果的影响 (HRT = 10d)
1. BOD_5 2. SS 3. COD

非常明显。图 3 为实验条件下稳定塘处理效果与水温的关系。从图 3 可见,随着温度的降低, BOD_5 和 COD 的去除率也大幅度降低。当水温降到 5°C 以下时,除 SS 去除率影响不大外, BOD_5 和 COD 的去除很缓慢。这表明在冬季,若不采用其它措施,仅用延长停留时间的方法使稳定塘出水达到排放标准,势必必要占用大量土地。这在大多数情况下是不可行的。

2. 塑料大棚的保温效果及热量平衡

为了提高稳定塘在冬季的处理效果,减少占地面积,我们试验采用农用塑料大棚作为稳定塘保温措施,即在中试塘上覆盖总面积约为 350m^2 的塑料大棚。大棚分为两个,第 1 个覆盖塘 1 和塘 2,第二个覆盖塘 3 和塘 4。以下简称“棚一”和“棚二”。

试验表明,塑料大棚的保温效果是有效的,保证了冬季实验的顺利进行。图 4 和图 5 为冬季大棚内外气温和各塘水温情况。平均棚内外温差棚一为 $8-14^{\circ}\text{C}$,棚二为 $7-14^{\circ}\text{C}$ 。由于大棚的保温作用,稳定塘维持了一定的水温,其中第一塘平均为 13°C ,第四塘平均为 5°C 。这使得在冬季气温很低的情况下,稳定塘内仍有一定的生物降解作用。与之对照,北京市回龙观稳定塘(接纳乡镇污水)冰冻时间长达 4 个月,整个稳定塘面积约 90% 被冰封盖。冰层最厚的地方达 40cm ,

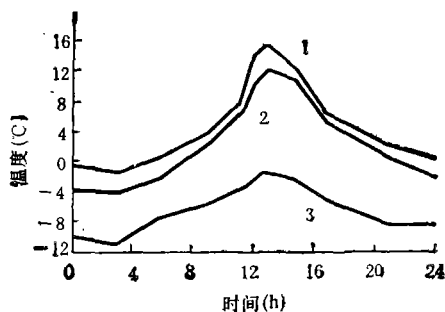


图 4 塑料大棚内外 24 小时气温变化
1. 棚一; 2. 棚二 3. 室外气温

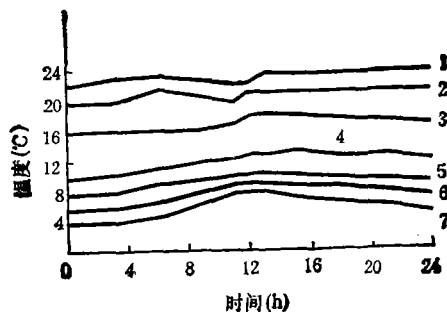


图 5 各级构筑物水温昼夜变化 (2月24日)
1. 水解池进水; 2. 水解池出水; 3. 稳定塘进水
4. 一塘出水 5. 二塘出水 6. 三塘出水 7. 四塘出水

塘内生物降解作用很弱。

由于阳光的作用,大棚内昼夜存在一定温差,且温差大于露天。图4为2月24日全天塑料棚内外温度变化情况。可见昼夜温差可达15℃。但即便如此,大棚内温度高于棚外,其中深夜温差最小时棚内仍比棚外高9℃以上。由于水的热容量大,故水温24小时变化幅度不大。图5为各级构筑物中水温变化情况,表明水温逐级下降,但各级昼夜温度曲线都较为平缓,无明显大起大落。

利用污水余热,用塑料大棚保温以提高稳定塘水温,这在技术上是可行的。在实际生产中,可考虑几点改进:(1)把水解池出水改为管道形式向稳定塘输送,而不用明渠;(2)塑料大棚在最寒冷的季节中太阳落山后加草席覆盖。如此塘内水温可望得到进一步升高。

但塑料大棚的保温作用仍是有限的。当塘内水温降到4℃以下时,生化反应很弱,塑料大棚已不起作用。下面从塑料大棚保温过程的热量平衡着手,求出塑料大棚最大有效面积。

图6为稳定塘及大棚中热量输入输出示意图,其中 H 为热量(kJ); S 为传热面积(m^2); V 为体积(m^3); T 为温度(℃); Q 为流量(m^3/d);时间以天计。

根据图6,可知稳定塘内水温和棚内气温的变化率为:

$$\begin{aligned} r_w M_2 \frac{dT_2}{dt} &= r_w Q(T_3 - T_4) \\ &- K_{12}(T_2 - T_1)S_{12} \\ r_a M_1 \frac{dT_1}{dt} &= K_{12}(T_2 - T_1)S_{12} + S_{01}H_2 \\ &- K_{01}(T_1 - T_0)S_{01} \end{aligned} \quad (1)$$

式中, M_2 和 M_1 分别为稳定塘中水的总体积和棚内空气的总体积(m^3); r_w 和 r_a ,分别为水和气的比热($kJ/m^3 \cdot ^\circ C$); K_{12} 和 K_{01} 分别为塘水向大棚空气、大棚内外热量传输系数($kJ/m^2 \cdot d \cdot ^\circ C$)。因设时间单位为天,故各

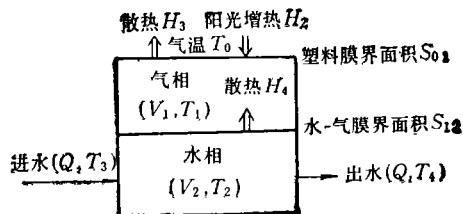


图6 大棚覆盖稳定塘的热量平衡

出入量均以每日总量计。各变化量均以月平均值计,则定态时有:

$$\begin{aligned} K_{12} &= \frac{r_w Q(T_3 - T_4)}{S_{12}(T_2 - T_1)} \\ K_{01} &= \frac{r_w Q(T_3 - T_4) + S_{12}H_2}{S_{01}(T_1 - T_0)} \end{aligned} \quad (2)$$

计算所用各值如下: Q 为 $11.3m^3/d$ (两系统停留时间分别为15d和10d), S_{12} 为 $140m^2$ (指两系统8塘总面积), S_{01} 为 $350m^2$ (两棚总面积), $r_w = 4186.8kJ/m^3 \cdot ^\circ C$, H_2 根据气象资料取月平均值,并根据资料[3],设阳光经过大棚后平均损失率为61.6%。由此可算得:

$$\begin{aligned} K_{12} &= 615.9kJ/m^2 \cdot d \cdot ^\circ C; \\ K_{01} &= 958.1kJ/m^2 \cdot d \cdot ^\circ C \end{aligned} \quad (3)$$

式(1)和式(2)可以作为塑料大棚保温效果预测之用。例如,若想以提高水力停留时间的方法来获得较好的出水水质,则根据式(1),可得出使塘水在冬季最低气温下不结冰的临界停留时间。

根据式(1),在定态时有(注意 $t = V_2/Q$):

$$T_1 = \frac{S_{12}K_{12}T_2 + S_{12}H_2 + K_{01}S_{01}T_0}{K_{12}S_{12} + K_{01}S_{01}}$$

和

$$t = r_w V_2 (T_3 - T_4) / [K_{12} S_{12} (T_2 - T_1)]$$

在我们的实验条件下 $V_2 = 140m^3$, $S_{12} = 140m^2$, $S_{01} = 350m^2$ 。设冬季棚内日辐射量为 $H_2 = 9713kJ/m^2 \cdot d$,最低平均气温 $T_0 = -10^\circ C$,且 $r_w = 100$, $T_3 = 18^\circ C$,平均 $T_2 = 4^\circ C$,则可算得大棚覆盖下塘水不结冰的最长

停留时间为 20 天。超过此时间,塘水仍要结冰。故在特定条件下算出的 t ,可视为设计大棚覆盖稳定塘的极限有效时间。

3. 大棚覆盖稳定塘的降解效果

试验在稳定塘大棚内进行。稳定塘停留时间为 15 天。试验历时 5 个月。实验期间平均结果如表 1 所示。在这种情况下出水 BOD₅ 在 18mg/L 左右, COD 在 90mg/L 左右,达到了排放标准。因此可认为,采用塑料大棚保温后,水力停留时间为 15 天的情况下,水解池-稳定塘在北京地区(北纬 40℃, 冬季最低气温 -20℃, 年平均气温 11.6℃)冬季运行出水可以达到排放标准。

在停留 15 天的情况下,出水水温已经低达 5℃,降解速率已较低。故可以认为,若除塑料大棚保温外不再加其它人工处理措施,则在冬天水解池-稳定塘系统停留时间 15 天为合适的运行参数,过短达不到排放标准,过长则占地太多,而效果提高不明显。

但是,在常温季节水解池-稳定塘系统设计参数为停留 5 天。这对亚热带地区而言全年都适用。但对于秦岭淮河以北的我国暖温带地区,由于四季分明,冬夏气温悬殊,若全年采用同一停留时间运行,势必造成:要么照顾冬天,设计较长的停留时间,在除冬季外

的其余时间造成土地浪费;要么按常温季节停留时间设计,造成冬季出水达不到排放标准。显然这二者都有一定的局限性,仅适用于一些特定的场合。

这个问题可以因地制宜采取两条技术路线来解决:

(1) 灵活进行稳定塘组合运转。即按冬季所需停留时间建塘,其中约 2/3 面积的塘深度按养鱼塘的标准设计。在春末到秋末约半年多的时间内,仅用 1/3 的塘作稳定塘,其余 2/3 养鱼用,秋末将鱼捞起后,将全部面积作稳定塘用。在有条件的地方采用这种方法,可望提高土地利用效益,解决冬夏运转不平衡的矛盾。

(2) 在冬季将人工处理措施与稳定塘相结合,而在夏季则仅采用稳定塘。这样将两类工艺的的优点结合起来,即解决了冬季运行问题,又仍不失系统基建投资低、能耗低的特点。

4. 接触氧化池降低稳定塘进水浓度试验

以上讨论了稳定塘在有塑料大棚情况下的越冬效果。进一步的技术经济分析表明,在停留时间需 15 天的情况下采用农用塑料大棚覆盖,基建费用与传统二级生物处理工艺相比,并没有明显的优越性。而且前面已经

表 1 冬季停留 15 天平均运行效果

		水解池	氧化塘	全 流 程
水温(℃)		20	5—12	
停留时间		4h	15d	
有机负荷 (kgCOD/ha·d)			202.6	
COD	进 水 (mg/L)	457.3	303.9	457.3
	出 水 (mg/L)	303.9	89.4	89.4
	去除率(%)	33.5	70.6	80.5
BOD ₅	进 水 (mg/L)	189.2	145.3	189.2
	出 水 (mg/L)	145.3	17.8	17.8
	去除率(%)	23.2	87.8	90.6
SS	进 水 (mg/L)	204.8	53.8	204.8
	出 水 (mg/L)	53.8	14.3	14.3
	去除率(%)	73.7	73.4	93.0

表 2 接触池冬季试验运行效果

负 荷	接触池进水			接触池出水			稳定塘出水(停留时间 5d)			
	水温 (°C)	BOD ₅ (mg/L)	COD (mg/L)	水温 (°C)	BOD ₅ (mg/L)	COD (mg/L)	水温 (°C)	BOD ₅ (mg/L)	COD (mg/L)	SS (mg/L)
接触池停留 1 小时, 负荷 3.6kg (BOD ₅)/m ² ·d	18	150.2	286.5	16.5	53.2	120.0	10	15.2	102.0	9.0
接触池停留 0.5 小时, 负荷 7.2kg (BOD ₅)/m ² ·d	18	149.5	280.3	17	60.1	179.2	10	28.2	98.5	8.5

讨论过, 常温季节只需稳定塘停留 5 天, 即可稳定地达到二级出水标准。若按 15 天设计, 对土地占用亦显过多。

为此进行了用接触氧化池与塑料大棚覆盖下的稳定塘相结合的办法, 降低稳定塘进水浓度, 使得在稳定塘只需停留较短时间(如 5 天)的情况下, 出水即可达到标准。接触氧化池的特点是能耗低, 运行简单可靠, 能适应较高的负荷。

接触池填料采用软性纤维填料。软性纤维填料的接触氧化工艺, 近年来广泛应用于工业废水和城市污水的处理中。研究表明, 其在高负荷阶段有独特的优点。根据这一性质, 有人报道了带状污泥工艺^[4], 我们的试验也正是利用这一性质将其作为稳定塘前的强化工艺。表 2 是两种负荷下接触池处理水解池出水的试验效果, 表中“进水”系指水解池出水。

从实验结果看, 接触池水温散失较少(0.5—2°C)。在较高的负荷(7.2kg(BOD₅)/m²·d, 停留时间 0.5h)下运转正常, 填料上生物膜发育良好, 出水 BOD₅、COD 分别达到 60mg/L 和 179.2mg/L。经过稳定塘进一步降解(停留时间 5 天)后, 可达到 BOD₅ 16mg/L 以下, COD 100mg/L 以下, 符合出水排放标准。

5. 水解池-稳定塘系统越冬的综合措施

从以上实验可见, 北方地区冬季采用水解池-接触池-稳定塘流程能够保证处理效果。但这需要在水解池-稳定塘系统中增加一些构筑物, 如接触氧化池、沉淀池、鼓风机

房等。在常温季节这些构筑物将闲置不用, 这就造成一定程度的浪费。为此我们考虑如下措施:

(1) 接触池与水解池一体化。增加水解池的设计停留时间到 3.5—4.0 小时(原设计时间为 2.5—3.0 小时)。将构筑物分隔为两部分, 一部分为上流污泥床, 停留时间 3.0 小时; 另一部分为填料床, 停留时间为 0.5—1.0 小时。夏季两部分并联使用, 填料床不曝气, 作为水解反应器的一部分, 出水进入稳定塘。冬季则将两部分串联使用, 重新启动填料池作为接触氧化池。实验表明, 只要曝气量充分, 即使不接种好氧活性污泥, 填料床中生物膜从水解产酸菌为主转变到好氧菌为主的过程非常迅速, 只需 3—5 天即可实现。

(2) 将稳定塘第一塘首部按沉淀池设计, 有排泥装置, 沉淀因接触池出水带出的悬浮物, 在冬季情况下, 可以设计有一定容量的污泥斗。考虑其有 2—4 周的污泥储量。

按以上措施进行设计, 则除需要增加鼓风机房外, 只需增加少量投资即可, 而且仍保持了稳定塘工艺运转费用低、操作简便的特点。

总结以上讨论, 提出以下适合北方地区冬季气候的工艺流程(图 7)

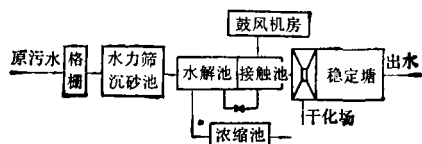


图 7 水解池-接触池-稳定塘工艺流程

(下转第40页)

2000 年广西壮族自治区酸沉降预测*

赵凌清 郝吉明

(清华大学环境工程系)

班玲 文伟民 杨逢柱

(广西壮族自治区环保科研所)

摘要 以我国酸沉降敏感区——“湘桂走廊”作为控制域,预测广西壮族自治区 2000 年酸沉降趋势。采用弹性系数法和趋势外推法预测了 2000 年原煤消耗量与 SO_2 排放量,并用区域模式与局地模式相叠加的方法预测了不削减方案下 2000 年“湘桂走廊”的 SO_2 浓度及硫沉降趋势。用趋势外推法估算出 2000 年降水 pH 值。

关键词 酸沉降预测; SO_2 排放量;弹性系数法;趋势外推法。

近几年的酸雨监测工作表明,广西壮族自治区(以下简称广西区),特别是“湘桂走廊”区域的酸雨污染已与世界和我国西南地区某些重酸雨区的污染程度相接近。酸雨研究的根本目的在于对其实施控制。在控制对策研究中,预测酸沉降的趋势具有十分重要的意义。在参考国内外有关文献和分析广西区酸雨来源与成因的基础上,制定了如图 1 所示的研究方法。

预测模式的求解过程和方法可归纳如下:

过程 a: 用弹性系数法求解;

过程 b: 用相关趋势外推法和用含致酸

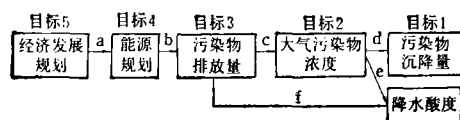


图 1 预测方法示意图

污染物的比率求解;

过程 c、d: 用模型模拟法求解;

过程 e、f: 用相关趋势外推法求解。

“湘桂走廊”控制域内的煤耗、 SO_2 和烟尘排放量都占整个广西区的 65% 以上,高架点源占全区的 70—80%,控制“湘桂走廊”污

* 国家“七五”科技攻关项目。

(上接第39页)

三、结 论

1. 低温时稳定塘处理效率很低,仅仅用延长停留时间的方法,不能保证出水达到二级排放标准,而且需要占用大量土地。这在大多数情况下是不可行的。

2. 农用塑料薄膜大棚造价低,具有较好的保温效果。薄膜覆盖稳定塘能大幅度提高处理效果。本文推导了设计塑料大棚有效面积的公式,在本实验条件下,塑料大棚稳定塘停留 15 天,出水能稳定达到二级排放标准。

3. 采用高负荷接触氧化池降低进塘污水的 BOD₅ 浓度,能使冬季稳定塘所需的停留

时间减少到 5 天。

4. 综合各种试验,本文提出了适应北方地区冬季气候特点的水解池-接触氧化池-塑料大棚工艺流程。该流程具有占地面积小,运行费用低、出水水质好等特点。

参 考 文 献

- [1] Oleszkiewicz, J. A. et al., *Waste Stabilization Ponds*, p. 84, Mara, D. D. Ed., Pergamon Press, UK, 1987.
- [2] 王凯军等,环境工程, (4), 1(1987).
- [3] 赵鸿均,塑料大棚园艺,第 105 页,科学出版社,1984 年.
- [4] 张崇华等,中国给水排水, (2), 21(1988).

(收稿日期 1990 年 12 月 4 日)

Abstracts

Chinese Journal of Environmental Science

SO₂ episodes always happened over heavy polluted areas, especially industrial areas or big cities, so the below-cloud scavenging of trace gases and particulates plays an important role for the formation of acid precipitation, no matter how the precipitating cloud is polluted or acidic or not, the oxidant is controlling reagent for the acidification of the precipitation in these areas; 3. The chemical composition of precipitation in typical rural area is dependent on that of precipitation cloud, i. e. dependent on cloud chemistry, where SO₂ is the control reagent; 4. The major oxidant in this subtropical area is H₂O₂. The higher the altitude the higher the concentration of H₂O₂ in cloud water would be. 5. Acid rain in this area is sulfuric acid type, nitric acid content has an increasing trend and the organic acid must be accounted for acidity of the precipitation. 6. No simple relationship was found among H⁺, NH₄⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, SO₄²⁻ and NO₃⁻ in precipitation. Many elements in precipitation were contributed from atmospheric particulates. Parameterizing buffering of particulate and coupling it to belowcloud scavenging model, the acidity gap of rain between field measurement and simulation. was much narrowed.

Key Words: acid rain, acid precipitation, chemical process of acid rain, acid rain in southwestern China.

Principal Ecological Indices and Critical Contents of Cd, Pb, Cu and As in Main Types of Soil in China. Collaborative Group on Soil-environmental Capacity (consisting of 17 units including Institute of Geography, Academia Sinica; Chinese Academy of Environmental Sciences; Institute of Environmental Sciences, Beijing Normal University; Institute of Applied Ecology, Academia Sinica, Shenyang; Institute of Soil Science, Academia Sinica, Nanjing): *Chin. J. Environ. Sci.*, 12(4), pp. 29—34

This paper suggested critical contents of Cd, Pb, Cu and As in main types of soil in China and their classificatory characteristics based on the research results of ecological and environmental effects of Cd, Pb, Cu and As in main types of soil in China and the method for multi-index, multi-system determining critical contents of elements in soil.

Key Words: soil elements, critical contents, environmental quality, soil.

Improved Hydrolytic Tank-Stabilization Pond System for Cold Climate Area. Xu Xiaoming, Wang Kaijun, Tao Tao (Beijing municipal Research Institute of Environmental Protection, Beijing): *Chin. J. Environ. Sci.*, 12(4), 1991, pp.35—39

In order to enhance treatment efficiency of stabilization ponds in winter, hydrolytic tank is adopted for pretreatment to reduce quantity of pollutants and improve the biodegradability of raw wastewater. Plastic green-

house which covers the pilotscale stabilization ponds was used for heat preservation. On the bases of thermal balance analysis and technical-economic analysis, this paper proposes an improved stabilization pond system which can retain the treatment efficiency in cold climate areas in winter.

Key Words: stabilization pond, degradation rate, thermal balance, organic load.

Forecast of Acid Precipitation in Guangxi by the Year 2000. Zhao Lingqing, Hao Jiming (Department of Environmental Engineering, Tsinghua University, Beijing), Ban Ling, Wen Weiming, Yang Fengzhu (Research Institute of Environmental Protection of Guangxi Autonomous Region): *Chin. J. Environ. Sci.*, 12(4), 1991, pp. 40—46

The research of this paper was carried out under the National Seventh Five-Year Key Program—Research on the Integrated Control Strategy of Acid Rain in South China. The paper considers a sensitive region of our country, the Xianggui Corridor, as the control region to predict the trends of acid precipitation in Guangxi to the year 2000. Coal consumptions and SO₂ emissions in 2000 were estimated by the method of elastic coefficient and trend extrapolation. By means of combining a regional-scale model with a local model, SO₂ concentrations and sulfur depositions in Xianggui Corridor without control in 2000 were predicted. pH value of precipitation in the same year was estimated by trend extrapolation.

Key Words: prediction of acid precipitation, SO₂ emissions elastic coefficient, trend extrapolation.

Study on the Purification of Filature Wastewater with *Ipomoea aquatica* Forsk Soilessly Cultivated on Artificial Substratum. Cheng Shupe, Ding Shurong, Hu Zhongming (Institute of Environmental Sciences of Nanjing University, Department of Environmental Sciences of Nanjing University, Nanjing): *Chin. J. Environ. Sci.*, 12(4), 1991, pp. 47—51

Ipomoea aquatica Forsk was cultivated on the surface of wastewater discharged from a filature mill. In the process of removal of organic materials from the wastewater, *Ipomoea aquatica* Forsk showed a pretty good adaptability to the wastewater in static, dynamic and pilot experiments. 625 kg of *Ipomoea aquatica* Forsk could be gathered in ten days in an area of 667 m² during the period of time from June to July in 1988. The results show that the application of the technique of soilless cultivation of *Ipomoea aquatica* Forsk to ecological engineering of filature wastewater can not only purify wastewater, but also produce economic benefit. And it may be combined with the technique of soilless cultivation of *lolium multiflorum* lam so as to form a