

季节性间歇曝气式 串联氧化塘系统的可行性研究

周 帆

杨 卫 权

(武汉工业大学)

(建 工 系)

摘 要

氧化塘冬季处理效果差是长期以来亟待解决的难题。本文提出了一种以氧化塘自然净化与低能耗人工强化相结合的新工艺——季节性间歇曝气式串联氧化塘系统来解决这一难题。本研究采用两组不同串联氧化塘系统,对该工艺的可行性进行了论证。试验结果证明,该工艺能较好地克服冬季低温的影响,而所增加的动力费用则很少。

一 概 述

用氧化塘处理有机污水,由于具有基建投资省、运行费用低、处理效率较高、对水质的变化有较强的适应能力等优点而日益受到重视,但其冬季处理效率低又常使决策者在考虑是否采用这一工艺时踌躇不决。为了改善氧化塘冬季处理差的问题,各国学者进行了多方面的研究,大致可分为下述五方面:

1、延长停留时间:从净化机理方面讲,这是最基本的方法,可减少低温对BOD去除率的影响。Randall[1]和Carpenter[2]的试验结果已证实,低温时因延长停留时间而提高效率比中温时更为明显。表1是Randall用曝气塘处理罐头废水时的试验资料。Gloyne[3]也认为,处理效率相同时,温度愈低,则所需停留时间愈长。

2、采用组合、复合氧化塘系统,这是提高氧化塘冬季处理效率的又一重要技术措施。从动力学观点看,它改善了氧化塘的水力混合条件,促进了生化反应,提高了氧化塘的处理效率;从生态学观点讲,由于系统中各塘的生物相不同,使有机物能更好的得到降解,对冲击负荷和有毒物质也有较强的耐冲击能力,从实际运行情况看,以自然净化为基础的组合或复合

本文于1989年4月29日收到

氧化塘系统在温暖季节虽均能获得满意的处理效果，但对低温的抵御能力不太明显。

HRT、温度对去除率的影响 表1

HRT (天)	温度 (℃)	去除率 (%)
4.5	17.2	94
4.5	6.1	43
13.0	7.3	95

3、改变运行方式: Sawyer[4]提出,平时并联运行的氧化塘,进入寒冷季节则改为串联运行。Buhr[5]等人提出一种双塘法,即夏季一塘运行一塘养鱼,而冬季双塘并联运行。上述两法均可确保冬季的处理效果。另一种方法是增加塘深,资料介绍,若增加氧化塘深度而使表面积减少一半时,水温可提高3.8℃,这相当于提高冬季生物活性的50%左右[4]。

4、生物强化:在氧化塘中种植水生植物(常用水风信子)是国内外最为常用的生物强化措施,并被认为是克服污水处理中高费用、高能耗的一种有力手段。实践证明,引入水风信子确能提高氧化塘的处理效果,但水风信子对温度很敏感,其生长的最佳温度范围为21~30℃,当温度在10℃以下时无法生长。故当地区冬季水温低于10℃时不能用此法。有的学者建议用浮萍等耐寒性强的水生植物对付寒冷气候[6],但目前尚无资料说明其可在寒冷气候下运行。

5、曝气塘:设计良好的串联曝气塘工艺在改善冬季低温影响方面有较好的效果,因而也是常用的方法之一[7]、[8],其缺点是耗能多。Rich[9]提出了低能耗的两种比功率的四池曝气氧化塘系统。即使如此,处理1m³污水的电耗约为0.3度/m³,比常规活性污泥法少不很多。此外,由于塘中氧气主要由机械曝气提供,并未充分利用藻类的供氧作用。实际调查说明,即使在我国北方,冬季塘水中仍有一定量的藻类(约为夏季的1/10左右)[10],因而具有一定的供氧能力。

综上所述,这些方法虽都有不少成功之处,但也都存在不可克服的缺点。其共同点大都是以冬季作为不利条件来设计,故所需塘面积较大。有鉴于此,本文提出了季节性间歇曝气式串联氧化塘工艺。季节性是指在温暖季节以自然净化方式运行,仅在冬季进行曝气,间歇曝气式是指仅在一天中藻类光合作用较弱的早上或晚上进行适量的曝气以补充氧的不足。该工艺同时具有自然净化氧化塘和曝气塘的净化特性,既充分发挥了氧化塘的自然净化功能,而所需能耗比一般曝气塘要少得多。该工艺是以温暖季节作为不利条件来设计,因而所需的塘容积也较少;现有的氧化塘也易于改造为本工艺以提高负荷。试验表明,该工艺能有效地抵御冬季低温与温度突降对处理效率的影响,而所增动力费用则很少。

二 试验装置与方法

为了综合考察当地可能影响氧化塘净化功能的各项自然条件,试验模型安装在墨水湖氧化塘(中试塘)现场。

试验流程见图1。试验用水取自中试系统的初沉池出水,经高位水箱自流入模型池。模型池分两组,分别为兼性串联塘系统和厌氧—兼性串联塘系统。两模型塘池均由钢板焊制,每池有效容积为113.4公升,各塘容积比,兼性塘系统为4:3:3:4,厌—兼塘系统为2:2:3:3:4,有效水深为0.9米。曝气器为E型,叶轮直径为11公分。

水样每周采集二次。分析项目有BOD₅、COD和SS,同时,每天于7:30、13:30、16:30分三次测定气温、水温 and 光照强度。分析和测定方法:BOD₅、COD和SS均为标准法,光照强度用光照仪测定。在整理资料时,计算了BOD₅去除率的标准偏差 σ ($=\sqrt{\sum r^2/n-1}$),以检验去除率的稳定情况。

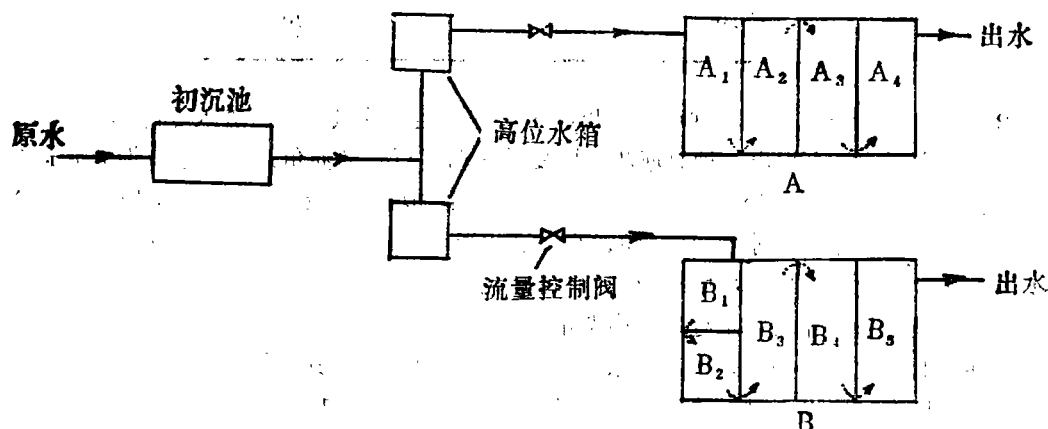


图1 动态模拟试验工艺流程

A: 串联兼性塘系统。其中A₁、A₂、A₃、A₄均为兼性塘

串联厌—兼塘系统,其中B₁为厌氧塘,B₂、B₃、B₄、B₅均为兼性塘

试验从1987年7月1日起至1988年3月16日止,共进行260天。7月1日开始对模型池进行接种、驯化与试运行,共96天。10月5日后进行正式试验。正式试验分两个阶段。第一阶段为自然净化,共运行87天,三组试验,其水力停留时间,第一、二组为10天,第三组为15天。第二阶段为间歇曝气,主要考察在低温条件下采取间歇曝气后的净化功能。运行了77天,三组试验,其水力停留时间分别为15、10、5天,每日清晨和傍晚定时进行曝气若干小时。曝气叶轮的位置:兼性塘系统安装在第一级,厌—兼塘系统安装在第三级。

在这两个试验阶段期间,各有一次明显的气温突降,这有利于观察温度对运行效果的影响。

三 第一阶段试验结果与讨论

前已提及,在这一阶段曾经历了一次寒潮的袭击(11月25日气温为18℃,26日寒潮来临,气温突降,到28日晨为-2℃;相应地,水温从25日的18℃,到28日晨降为4.5℃),故运行情况可按寒潮前、后的三组试验来讨论,但三组试验的进水平均水质基本相同,见表2和图2。

1、寒潮前的第一组试验,其水温保持在16.6℃左右(11.8~17.26的平均值),水力停

第一阶段平均出水水质 (BOD₅)、去除率汇总表

表2

试 验 序 号		第 1 组 试 验		第 2 组 试 验		第 3 组 试 验	
试 验 条 件		HRT = 10天, 水温16.6℃		HRT = 10天, 水温5℃		HRT = 15天, 水温10.3℃	
塘 系 统		兼 性	兼一厌	兼 性	兼一厌	兼 性	兼一厌
进水BOD ₅ (mg/L)		188.5		161.8		179.0	
一 级 塘	出水BOD ₅ (mg/L)	35.0	50.3	60.1	66.9	71.6	89.5
	去除率 (%)	81.43	73.32	62.86	58.65	60.00	50.00
	去除率标准差	2.19	5.48	6.48	9.88	8.39	10.84
二 级 塘	出水BOD ₅ (mg/L)	29.6	39.4	54.9	62.1	72.0	85.0
	去除率 (%)	84.30	78.94	66.07	61.62	59.78	52.51
	去除率标准差	30.6	3.35	6.78	10.48	7.72	11.33
三 级 塘	出水BOD ₅ (mg/L)	30.0	37.4	53.9	58.5	71.1	82.4
	去除率 (%)	84.08	80.16	66.69	63.84	60.28	53.97
	去除率标准差	2.36	2.85	6.50	7.93	9.26	11.45
四 级 塘	出水BOD ₅ (mg/L)	30.1	35.8	52.1	57.0	72.6	78.8
	去除率 (%)	84.04	81.01	67.80	64.77	59.44	55.98
	去除率标准差	3.92	2.43	7.51	8.51	7.68	10.57
五 级 塘	出水BOD ₅ (mg/L)		34.2		49.6		79.8
	去除率 (%)		81.86		69.34		55.42
	去除率标准差		3.28		8.76		11.96

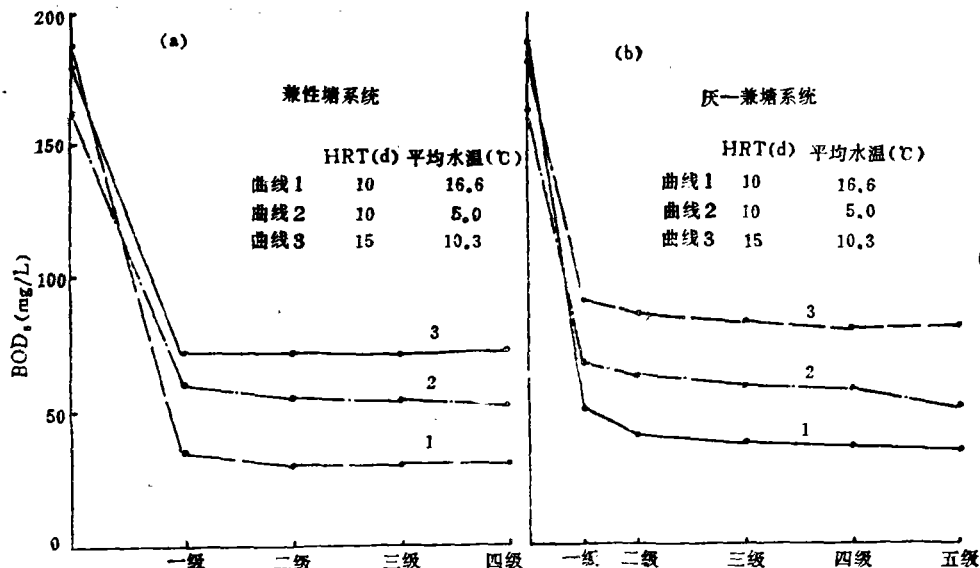


图2 第一试验阶段出水BOD

留时间HRT为10天时, 在进水 BOD_5 为188.5(148.4~217.3) mg/L 条件下, 有机物在两组塘中的去除率均较高, 分别为84.04%和81.86%, 出水水质满足(兼性塘系统)或接近(厌—兼塘系统) $\leq 30mg/L$ 的要求。试验表明, 有机物的去除主要在第一级塘, 占系统BOD去除率的96.6%(兼性塘系统)和89.6%(厌—兼塘系统)。从表2中可见, 该实验组的 δ 均较小, 一般小于5%, 说明在该试验条件下有机物的去除较稳定, 去除率无甚大变化。试验中还发现, 经常出现后一级塘的出水 BOD_5 、SS高于前一塘的现象。对兼性塘系统, 这一现象主要发生在第三、四级塘。而厌—兼塘系统主要发生在三、四、五级塘。这主要是由于藻类混入的原因, 在藻类旺盛的季节这一现象特别明显。

2、第二组试验是在寒潮来临及其后一段时间内进行的。平均水温为5℃。它表明, 冬季温度突降对自然净化的氧化塘系统的有机物去除影响较大。温度突降后, 两组系统出水的平均 BOD_5 已达50 mg/L 左右, 高出要求出水 $BOD_5 \leq 30mg/L$ 的70%。兼性一级塘和兼性塘系统 BOD_5 的去除率下降到65%左右, 分别是温度突降前去除率的77.2%和80.68%, 对厌氧一级塘和厌—兼塘系统, 其 BOD_5 的去除率也只是温度突降前的80.0%和84.71%。这说明: ①温度突降对两个系统的第一级塘的影响均要大于整个系统的影响; ②在其它条件都相同条件下, 厌—兼塘系统对温度突降的抵御能力要稍大于兼性塘系统。但总的讲, 依靠自然净化的塘系统, 在HRT=10天条件下, 当冬季温度突降时, 其出水水质已不满足排放要求, 且BOD去除率波动也较大, 去除率的标准离差值也增大。

3、为了验证水力停留时间对处理效果的影响, 从12.8~12.31进行第三组试验, 水力停留时间延长为15天, 此时的气温也有所回升, (平均水温为10.3℃)。但值得注意的是, 由于前期受到温降的影响, 处理效率未见提高, 其平均值甚至还有所下降。且处理效果不稳定, 去除率的标准离差比第二组还要大。这些都说明, 依靠自然净化的氧化塘, 一旦遭受温度突降而净化功能恶化后, 恢复起来需要较长的时间。

四 第二阶段试验结果与讨论

第二阶段共进行了下列三组水力停留时间的试验:15、10和5天。试验期间的水温一般均比第三组试验时的水温要低,且有一次寒潮,2月16日下大雪,水温从12.5℃降到3.5℃,2.23~28,雨、雪不止,水温最低降到1℃(相应地气温为-2℃),塘表面有一层薄冰,一周内降温12℃。但与87年11月底的温度相比,水温速度下降要缓慢些。

第二阶段水质分析数据见表3和图3。由这些图和表并和第一阶段试验结果比较后可见:

1、在三种水力停留时间条件下,定时曝气后两组塘的一级塘和塘系统的BOD去除率均高于第一阶段,虽然第二阶段的平均水温要低,相应的去除率标准偏差较小,说明去除率较稳定。温度突降前的第四、五组试验,塘系统出水的BOD₅均满足排放要求,其中第五组出水水质比第四组更好,主要原因是其平均水温比第四组试验时要高出3℃。较高的温度弥补了水力停留时间的缩短。这一阶段出水水质之所以较好,显然是由于进行了间歇曝气之故。氧化塘冬季处理效率低的主要原因,除低温使细菌的代谢能力降低外,藻类浓度减少、从而使藻类供氧能力也降低是重要因素之一。按一般资料介绍,兼性塘中藻类浓度在10~100mg/L之间,视温度和光照条件而定。在第三组试验期间实测藻类浓度约为12~22mg/L。按此所作的理论计算表明[11],在冬季,藻类供氧与水面复氧仅能满足总需氧量的70%,因而氧化塘的BOD去除率将下降至30%左右,这与第三组试验数据相吻合。在最缺氧的清晨和傍晚进行曝气补充了微生物降解有机物需氧的不足,从而提高了处理效率。

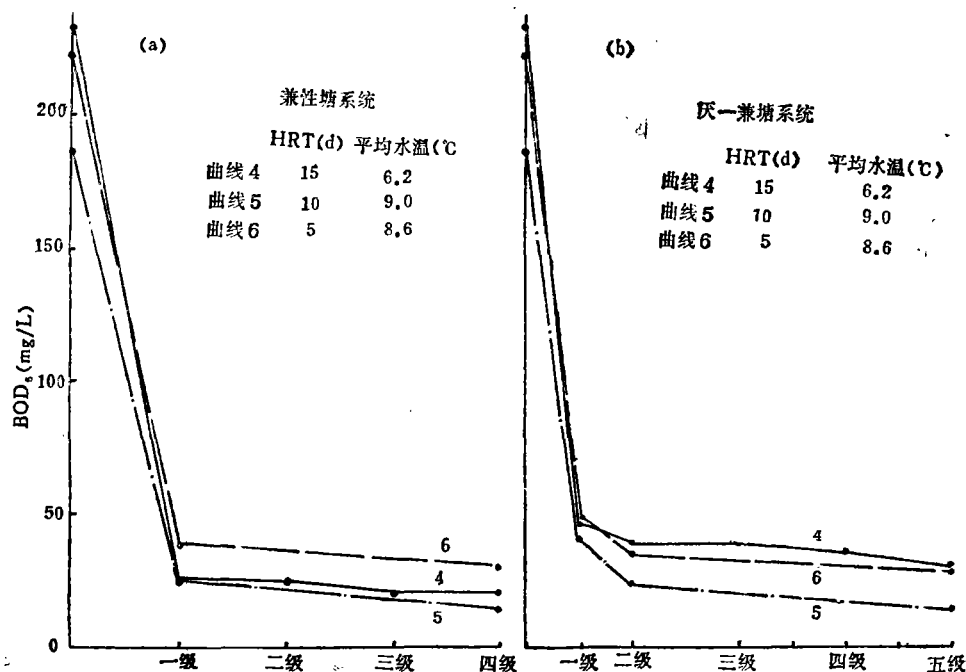


图3 第二阶段出水BOD

第二阶段平均出水水质、去除率汇总表

表 3

试 验 序 号		第 4 组 试 验		第 5 组 试 验		第 6 组 试 验	
试 验 条 件		HRT = 15天, 水温6.2℃		HRT = 10天, 水温9℃		HRT = 5天, 水温8.6℃	
塘 系 统		兼 性	厌一兼	兼 性	厌一兼	兼 性	厌一兼
进水BOD ₅ (mg/L)		231.6		186.0		222.5	
一 级 塘	出水BOD ₅ (mg/L)	25.2	46.6	24.2	39.9	38.3	47.7
	去除率 (%)	89.12	79.88	86.99	78.55	82.79	78.56
	标准差	3.82	5.30	5.72	8.46	4.28	2.16
二 级 塘	出水BOD ₅ (mg/L)	24.3	38.3		22.6		34.1
	去除率 (%)	89.51	83.46		87.85		84.67
	标准差	4.94	4.58		3.97		5.47
三 级 塘	出水BOD ₅ (mg/L)	20.3	38.7				
	去除率 (%)	91.23	83.29				
	标准差	3.29	5.26				
四 级 塘	出水BOD ₅ (mg/L)	20.3	34.6	14.1		30.5	
	去除率 (%)	91.23	85.06	92.42		86.29	
	标准差	2.99	4.56	2.18		2.75	
五 级 塘	出水BOD ₅ (mg/L)		30.0		13.7		28.2
	去除率 (%)		87.05		92.63		87.33
	标准差		4.22		3.80		3.69

第二阶段温降前后运行特性比较

表 4

试 验 序 号	试 验 条 件		兼 性 塘 系 统				厌—兼 塘 系 统			
	HRT (天)	平均水温 (℃)	第一级塘		塘 系 统		第一级塘		塘 系 统	
			出 水 BOD ₅	去 除 率	出 水 BOD ₅	去 除 率	出 水 BOD ₅	去 除 率	出 水 BOD ₅	去 除 率
第 5 组 试 验	10	9	24.2	86.99	14.1	92.42	39.9	78.55	13.7	92.63
第 6 组 试 验	5	6	43.6	78.57	33.4	83.58	46.4	77.13	33.4	83.58
第 6 组 去 除 率 / 第 5 组 去 除 率			0.903		0.904		0.982		0.902	

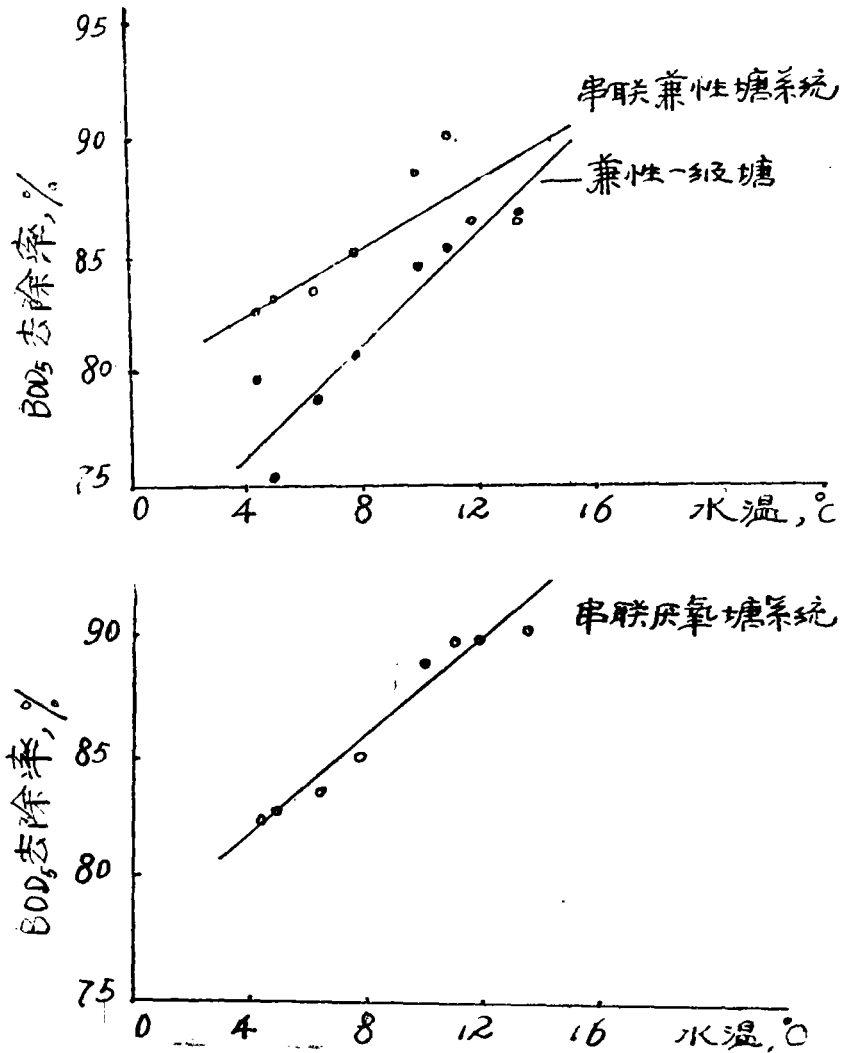


图 4 温度对两个塘系统 BOD₅ 去除率的影响

2、比较两个塘系统的处理效果后可发现,和第一阶段情况相反,第二阶段厌—兼系统的BOD去除率要高于兼性塘系统,出水水质也更好一些。这是由于曝气器在两个塘系统中的位置不同而造成的。可以认为,曝气器不置于第一级塘可获得较高的处理效果,或在达到同样处理效果条件下可望节省更多能耗。

3、第六组试验是在寒潮来临时进行的。表4将第六组试验中水温低于 7.8°C 的3月5日前的数据作了寒潮前后运行特性的比较。由表可见,即使在HRT减少一半情况下,温度突降使BOD去除率的减少也不到10%,而第一阶段试验在遇寒潮后BOD去除率只是正常情况下去除率的77~80%。这充分说明,进行定时曝气后,氧化塘系统对温度突降的抵御能力有较大的提高。值得指出的是,试验中发现,BOD₅的去除率与温度呈线性相关(其中,温度对一级塘去除率的影响要大于塘系统),见图4。因而,随着气温和水温的回升,两个模型试验塘系统的出水水质均趋向好转,BOD去除率也逐渐提高。这与第一阶段温度突降后塘的正常运行较难恢复形成了鲜明的对比。

五 小结与问题

1、温度在 16.6°C 左右、HRT为10天条件下,自然净化的四级串联兼性塘系统和五级串联的厌—兼塘系统的BOD去除率较高,都超过80%,出水满足排放要求。在此条件下温度对处理效果的影响较小。

2、温度突降对自然净化氧化塘系统的有机物去除率影响明显。HRT=10天,寒潮使BOD₅去除率仅为60%左右,出水BOD₅大于 50mg/L ,处理效果也不稳定。而且,塘系统的净化功能一旦遭到破坏,很难在短期内恢复。

3、采用早、晚定时曝气后,在两种不同HRT(15、10天)和平均水温低于 9°C 条件下,两个模型塘的最终出水BOD₅都小于或等于 30mg/L ,BOD去除率除个别外,一般平均在91%以上。说明本工艺是提高冬季低温条件下有机物去除率的极为有效的工程强化措施。

4、采用定时曝气后,在温度突降时,即使氧化塘的水力停留时间减少为5天,平均水温为 6°C 情况下,BOD的平均去除率仍可达83%以上,短时期内出水BOD₅稍大于 30mg/L 。但当温度回升时,出水水质即随之变好。温度与BOD去除率之间有良好的相关性。这充分说明,采用本工艺可在很大程度上缓解、减轻温度突降的影响。

5、由此可见,本文提出的季节性间歇曝气式串联氧化塘系统在技术上是可行的。用温暖季节作为不利条件来设计氧化塘,可使塘容积较小,而在冬季低温时适当给予曝气,可使氧化塘常年获得较好的处理效率,所增动力费用则不多。

6由于是模型试验,电耗量测难于反映真实情况而未予测定,有待在中试时进行量测。

参 考 文 献

- [1] C.W.Randall教授“讲学讲义及论文集”,武汉工业大学,1987
- [2] W.L.Carpenter et al.,“Temperature Relationship in Aerobic Treatment and Disposal of Pulp and Paper Wastes”,JWPCF,1967, No.7.

- [3] E.F.Gloyna, "Facultative Waste Stabilization Pond Design", in 《Ponds as a Wastewater Treatment Alternative》, ed. by E. F. Gloyna et al., Water Source Symposium, №9, 1976.
- [4] 秦裕珩等译, "废水工程", 化学工业出版社, 1986。
- [5] Buhr and Miller, "A Dynamic Model of the High-Rate Algae-Bacterial Wastewater Treatment Pond", 《Water Research》Vol.17, P29~37, 1983.
- [6] 米德尔布鲁克斯著, 杨文进等译, "废水稳定塘的设计与运行" 中国建工出版社, 1986。
- [7] 见参考文献6。
- [8] J.T.Quigley, "Lagoon Aerators Keep Solids Suspended Under Heavy Ice Cover," 《Water & Sewage Works》, June 64, 1978.
- [9] 列奇著, 钱易等译 "实用废水处理系统", 清华大学出版社, 1981。
- [10] 王宝贞 "关于生态系统氧化塘的一些设计、施工和运行维护问题", 《环境科学与技术》1985年第二期。
- [11] 周帆 "氧化塘内氧的消耗与补充", 《中南供水排水》 1987年第4期。