

# 滇池人工湿地系统进水前处理的研究

谌伟<sup>1,2</sup>, 李小平<sup>2</sup>, 孙从军<sup>2</sup>, 高阳俊<sup>2</sup>, 蔡婧<sup>2</sup> (1. 上海大学环境工程, 上海210070; 2. 上海环境科学研究院, 上海200233)

**摘要** [目的] 为减轻人工湿地堵塞状况。[方法] 采用硅藻土与助凝剂(PAM)复配对滇池湿地系统2类不同入水进行预处理, 最后给出相关经济性分析。[结果] 结果表明: 在目前海河水 and 福保村生活污水的水质条件下, 当硅藻土的投加量应达到120 ng/L, PAM投量为0.3 ng/L时, 出水TP达到一级B的1 ng/L要求(GB18918-2002), 而当硅藻土投加量为40 ng/L时, 出水SS达到一级B 20 ng/L的要求。入水经过前处理, 使得最大限度减轻了是湿地系统后续潜滤池堵塞隐患, 保证高负荷湿地系统连续运转。[结论] 改性硅藻土前处理技术可利用较少的投资和运行费用达到降低后续湿地堵塞压力, 且处理所得污泥可回收利用, 毒性远低于铁盐铝盐产生的化学污泥, 是符合我国国情的前处理技术。

**关键词** 改性硅藻土; 污水预处理; 湿地堵塞

中图分类号 X703 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2008)01-00309-02

## Results and Analysis of Influent Water Pretreatment in Artificial Wetland System of Dianchi Lake

CHEN Wei et al (College of Environmental Engineering, Shanghai University, Shanghai 210070)

**Abstract** [Objective] The aim of the research was to alleviate the clogging status of artificial wetland. [Method] 2 kinds of different water-entry in wetland system of Dianchi lake were pretreated by combining diatomite with coagulant aid (PAM). Finally the relative economic analysis was given. [Result] Under present water quality conditions of Haihe River water and the domestic sewage in Fubao village, TP of effluent water reached Class I-B demand (1 ng/L) of GB18918-2002 when the adding amount of diatomite should reach 120 ng/L and the adding amount of PAM was 0.3 ng/L. SS of effluent water reached Class I-B demand (20 ng/L) when the adding amount of diatomite reached 40 ng/L. Influent water pretreatment alleviated hidden clogging troubles of subsequent potential filter pools in wetland system to the maximum extent and ensured the continuous running of high-load wetland system. [Conclusion] Pretreatment technology with modified diatomite can reduce the clogging pressure of subsequent wetland by less investment and operation cost. And the gained sewage sludge from treatment can be recycled and its toxicity was greatly lower than that of chemical sewage sludge produced by ferric salt and aluminum salt, which was the pretreatment technology in accordance with Chinese actual conditions.

**Key words** Modified diatomite; Sewage pretreatment; Wetland clogging

人工湿地作为主要废水生态修复技术, 由于具有生态性、环境友好性等优点而被广泛用来处理多种形式的废水, 在滇池的生境重建中亦发挥了重要的作用。然而, 湿地堵塞成为制约其效率的重要原因。建于滇池入河口的大清河口人工湿地同样存在堵塞问题, 导致污水净化效率降低。国内对于人工湿地堵塞的现象有一些报道<sup>[1]</sup>。詹得昊等对湿地水力特征开展过相关研究<sup>[2]</sup>, 但未见到针对工程应用中湿地堵塞的具体研究。硅藻壳体具有大量的、有序排列的微孔, 具有很大的比表面积。硅藻土有很强的吸附力、很大的吸附容量, 其表面及孔内表面分布有大量的硅羟基。这些硅羟基在水溶液中离解出H<sup>+</sup>, 从而使其表面显负电性。通过电中和效应, 使得带正电荷的胶体污染物脱稳。硅藻土由于表面积很大、吸附性强、表面显电性, 在去除颗粒态和胶体态污染物质的同时, 还可以有效去除溶解态存在的磷。经生产提纯改性后的硅藻土, 表面均匀干净, 颗粒大小相同, 理化性质一致, 比表面积得到最大程度的扩展。由于硅藻土表面带有负电荷, 对于带正电荷的胶体污染物而言, 可通过中和脱稳。但由于进水中, 特别是城市生活污水中, 有相当多的带有负电荷的污染物, 所以可加入一定量助凝剂。硅藻土复配絮凝, 可改善矾花松散、不易下沉的状态, 快速形成粒度和密度较大的絮体, 絮体稳定性好<sup>[3-4]</sup>。总之, 改性硅藻土处理污水的作用机理非常复杂。脱稳絮凝、物理吸附、沉淀反应等多个过程同步进行。污水净化过程实际上就是这些过程协同作用的结果。

笔者从来源出发, 增加入河口污水的絮凝前处理工序,

减少进水中难降解SS, 减轻后续湿地堵塞压力, 研究改性硅藻土絮凝剂的投加量对处理效果的影响。

## 1 材料与方 法

**1.1 改性硅藻土进水前处理工艺** 在污水进水时采用改性硅藻土污水前处理工艺(图1)。投药前增加曝气处理, 一方面可通过气流运动起到类似机械搅拌的作用, 为絮凝反应提供必要水动力条件, 另一方面可通过提高水体溶解氧, 增加水体中好氧微生物量, 消除部分有机物, 减弱黑臭现象。曝气也可大大减少改性硅藻土用药量, 发挥药剂最大潜能, 提高系统缓冲能力, 改善出水稳定性。

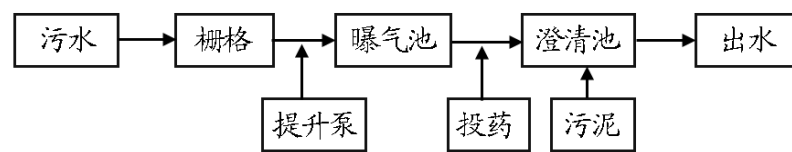


图1 改性硅藻土污水前处理工艺

Fig.1 The craft of the modified diatomite sewage processing

**1.2 原水水样及絮凝剂** 入河口主要污水来自滇池边福保村文化城的生活污水以及海河水。试验期间进水水质见表1。

表1 试验期间进水水质 ng/L

Table 1 The entering water quality during the experimental period

水样 Water sample	COD	TP	SS
海河 Haihe	102 ~146	3.07 ~4.88	38 ~49
福保 Fubao	75 ~88	1.56 ~2.80	22 ~25

改性硅藻土取自昆明中友公司(DWP-158/GF008), 絮凝剂选用聚丙烯酰胺(PAM, 分析纯)。

**1.3 设备和仪器** HGL-1型六联搅拌器, HACH实验室水质分析测试仪。

**1.4 测试指标和方法** COD采用HACH水质分析仪测定;

基金项目 国家高科技研究发展计划(863计划)(2005AA601000411)。

作者简介 谌伟(1982-), 男, 浙江杭州人, 硕士研究生, 研究方向: 水污染治理、清洁能源。

收稿日期 2007-08-27

TP、SS 依据国家废水检测标准法测定。

**1.5 混凝试验参数** 该研究采用的混凝试验物理参数见表 2。考虑到研究对象为人工湿地入水,故不对水样 pH 值和温度做任何调整。

表 2 混凝试验物理参数

Table 2 The physics paranter of the coagulation experi nerts

絮凝试验 Coagulation test	转速 Speed r/ min	时间 Time min
混合 Mixed	350	1.5
反应 Reaction	60	10
沉淀 Precipitation	-	30

**1.6 最佳投药量的确定** 取 6 种不同剂量的硅藻类土量,分别为 40、80、120、160、240、320 ng/L,加入 0.3 ng/L 助凝剂 PAM 阴离子,对入河口水样进行絮凝试验。考虑到该研究目的是去除 SS,当出水 SS 达到一级 B 标准(1 ng/L)时,对应的最小投加量即为最佳投药量。

## 2 结果与分析

**2.1 对 COD 的去除效果** 从表 3 可以看出,2 类污水有机物含量较高。这主要是由生活污水以及工业废水造成的。增加改性硅藻土投加量,可提高 COD 去除率。当小剂量投加改性硅藻土时,福保村生活污水 COD 去除效率稍低于海河污水。COD 的整体平均去除率并不高,主要原因是污水中 COD 主要以可溶态存在,而该工艺通过含有机物成分颗粒与改性硅藻土形成絮体的方法去除,故 COD 去除率不高<sup>[5]</sup>。

表 3 改性硅藻土应用于 2 类污水的 COD<sub>Cr</sub> 试验结果(9 月 5 日)

Table 3 The COD<sub>Cr</sub> test result of the modified diatonite applying to the second kind sewage

投加量 Dosage ng/L	海河污水 Haihe sewage		福保污水 Fubao sewage	
	COD ng/L	去除率 Removal rate %	COD ng/L	去除率 Removal rate %
0	124.0	-	81.5	-
40	77.0	37.9	58.5	28.2
80	73.0	41.1	54.0	33.7
120	71.0	42.7	50.5	38.0
160	67.0	46.0	49.0	39.9
240	63.5	48.8	47.5	41.7
320	56.0	54.8	43.5	46.6

注:加入 0.1 ng/L PAM 0.3 ml。下同。

Nte: 0.3 ml 0.1 ng/L PAM was added. The same as below.

**2.2 对 SS 的去除效果** 该试验最重要的指标为 SS 去除率。降低 SS 主要是为了保证后续高负荷湿地设备不堵塞,稳定运行。从表 4 可以看出,当硅藻土投加量为 40 ng/L 时,海河处理出水 SS 去除率约为 80%,此时海河处理出水 SS 为 15.25 ng/L,而福保村生活污水处理后出水 SS 为 10.5 ng/L,即可满足《污水综合排放标准》一级 B(标准值为 20 ng/L)的要求。

**2.3 对 TP 的去除效果** 从图 2 可以看出,改性硅藻土对于 TP 的去除效果比较明显。当硅藻土投加量达到 0.12 g 时,即浓度为 120 ng/L 时,海河水样出水 TP 平均浓度约 1.075 ng/L,而福保村生活污水处理后出水 TP 仅为 0.335 ng/L,达到国家一级 B 类标准(1 ng/L),此时的 TP 去除率已达 75%~83%。研究还表明,TP 的去除率与投药量呈正相关,选择海河 a 样做趋势线,得到相关系数为 0.946 1。

**2.4 经济可行性** 研究表明,采用改性硅藻土前处理效果明显。研究改性硅藻土前处理技术的经济可行性需要从药品本身价格、处理时投药量以及后续污泥处理费用考虑。药剂费用按照市场价格。考虑到改性硅藻土产生的污泥较铁盐、铝盐污泥的脱水性能好,硅藻土污泥的回收应用广泛,所以计算中忽略处理污泥的费用<sup>[6]</sup>。根据不同的投加量,计算药剂费用。为了使得出水 SS 达到一级 B 类标准,处理每吨废水所需药剂费用为 11.68 万。

表 4 改性硅藻土应用于 2 类污水的 SS 试验结果(9 月 5 日)

Table 4 The SS test result of the modified diatonite applying to the second kind sewage (September 5)

投加量 Dosage ng/L	海河污水 Haihe sewage		福保污水 Fubao sewage	
	SS ng/L	去除率 Removal rate %	SS ng/L	去除率 Removal rate %
0	43.5	-	23.5	-
40	7.5	82.8	10.5	55.3
80	4.5	89.7	7.0	70.2
120	3.0	93.1	6.5	72.3
160	3.0	93.1	4.5	80.9
240	3.5	92.0	4.5	80.9
320	5.0	88.5	4.0	83.0

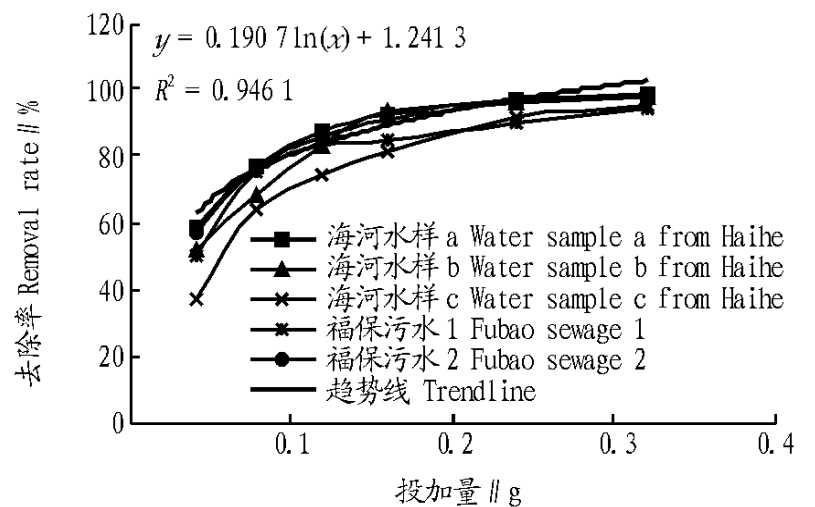


图 2 改性硅藻土混凝效果试验中 TP 去除率与投药量的关系  
Fig 2 The relations between the TP removing rate and the throwing dose in the effect test of the modified diatonite

## 3 结论

改性硅藻土前处理技术可利用较少的投资和运行费用达到减轻后续湿地堵塞压力的目的,且处理中所得污泥可回收利用,毒性远低于铁盐铝盐所产生的化学污泥,是符合我国国情的前处理技术。该试验中,当使用硅藻土为混凝剂、PAM 为助凝剂时,在投加量 120 ng/L 左右时,海河水样出水 TP 平均浓度约为 1.075 ng/L,而福保村生活污水处理后出水 TP 为 0.335 ng/L,达到一级 B(标准值为 1 ng/L)的要求,此时 TP 去除率达到 75%。对于另一个重要指标 SS,硅藻土投加量为 40 ng/L 时,海河处理出水 SS 为 7.5 ng/L,而福保村生活污水处理后出水 SS 为 10.5 ng/L,满足出水一级 B(标准值为 20 ng/L)的要求,此时去除率达到 78%。在该剂量条件下,海河出水 TP 为 2.305 ng/L,福保村生活污水出水 TP 为 0.995 ng/L。因而,考虑到该试验为入水预处理,主要目的是去除悬浮物质以防止后续步骤中设备堵塞,再加上经济因素,硅藻土用量确定为 40 ng/L 较为合理。

(下转第 349 页)

设,这本身已经存在一层委托代理关系,而承受企业将项目中个别环节分割成子项目外包给其他企业,这使得委托代理关系增加到双层,甚至多层。层层委托代理关系下,如果信息监督工作不到位,就会使各层代理人出现机会主义行为,比如降低工作不可证实的努力程度,这就降低了提供高质量项目的可能性。事实上,最终关心项目质量的是政府,而非出包方。因为承受企业作为出包方只要其所外包的项目质量达到最低要求,不至于影响其与政府签订的合约规定的项目质量就可以。出包方需要对承包方提供高质量的子项目支付更多费用,出包方只有预期到高质量项目给他带来的边界收益大于其边际支付时才会偏好高质量的子项目,承包方也只有满足保留效用的基础上预期提供高质量子项目的边际效用大于其边际努力负效用时,才会提供高水平的努力程度,从而更有可能产生高质量的结果。因此,出包方没有足够激励去督促承包方提供高质量的子项目,承包方也需要更多支付补偿才会提供高质量的子项目。

**3.2 资产专用性问题** 涉农项目所需资金庞大,涉及利益面广,建设过程中需要大量专业的人力资本投入以及相应设备的购置。即使项目需要的是简单的建筑工人,但由于项目的规模庞大,劳动强度大,需要有大量的人力投入,这些建筑工人只能从事相关简单的体力建设不易转为工厂技术性工人,一定程度上也可以看作是企业专用性人力资本。所有这些需要承包方企业进行大量的资产专用性投资,而外包项目建设的剩余索取权和控制权掌握在出包方手里,即承包方讨价还价能力较弱,在某种程度上承包方只有预期进行的投资能够获得可证实的合约收益或者出包方给以可置信的支付承诺时才会进行资产专用性投资,如果承包方单方面进行专项投资,会陷入更深的专业化生产之中,出包方会借此要挟承包方接受较低的外包价格,即所谓“敲竹杠”问题。因此,一般情况下,承包方不愿意承担更多风险进行资产专用性投资,仅会在现有的企业基础上围绕外包合约进行最低限度的施工建设。

**3.3 不完备合约问题** 涉农项目外包合约受到涉农项目特殊的性质影响,不可能具有完备性,即合约双方不可能针对每一种可能结果订立相应支付条款。因为,涉农项目外包对象是“三农”相关项目,尤其受到自然条件的限制,自然条件的不确定性影响加剧了合约的不完备性。另外,涉农项目外

包多是短期合约,仅完成规定的子项目合约就算结束,而整个项目建设周期较长,即承受企业和政府之间的合约相对较长,这就导致了诸多外包短期合约不完备,影响子项目的建设,而子项目转而影响整体项目的较长期合约的完备性。涉农项目的授权建设合约相对子项目外包合约具有较长期限,但是涉农项目常常是更加长期的“三农”固定投资,是关系到今后数十年甚至数百年的重大项目,项目的质量需要经过很长的使用时间才能评定优劣,因此相关合约难以把长时间的不确定性加以明确界定,导致合约不可能完备。

**3.4 监督问题** 涉农项目外包合约的不完备性给政府对项目外包的监督情况带来了巨大困难,增加了监督成本,对承包方的有些行为不能明确判断对错,对完成的子项目不能进行有效评估,对相关的支付不能进行清晰的标注。另外,合约不完备性为政府监督人员腐败行为提供了可乘之机,因为监督人员作为拥有最终项目剩余索取权和控制权的政府的代表对承包方进行监督,他可以既接受贿赂满足自身利益也满足承包方而又不违背合约相关对定,因为合约是不完备的,不能对诸多行为做出针对性的规定。

#### 4 结语

涉农项目外包的本质是一种分工形式,具有典型的“三农”特征,涉农项目外包是必要的,由于涉农项目外包存在信息不对称、资产专用性以及不完备合约等特征,使其存在诸多的风险。为了充分发挥外包形式的优势,避免其劣势,政府首先要对出包方承包方的资质进行严格筛选,确保最有效率的最有诚信的企业参与外包活动;其次,要加强对外包执行过程的监管机制,加强各层委托代理关系信息的沟通;另外,需要制定更加完备的法律法规,采取专业人员制定合约,提高外包合约的完备性,为政府、外包双方提供更有针对性的评定标准,并向外包双方提供有效的激励,确保最终项目的质量。

#### 参考文献

- [1] PRAHALAD C K, HAMEL G. The core competence of the corporation[J]. *Harvard Business Review*, 1990, 68(3): 79-91.
- [2] 朱作文. 我国农业项目可行性研究的问题与对策[J]. *科技情报开发与经济*, 2005, 15(23): 82-83.
- [3] HART O, SHLEIFER A, VISHNY R. The proper scope of government: Theory and an application to prisons[J]. *Quarterly Journal of Economics*, 1997, 112(4): 1127-1161.
- [4] HART O, MOORE J. Property rights and the nature of the firm[J]. *Journal of Political Economy*, 1990, 98(6): 1119-1158.

上海环境科学, 2003, 4(22): 275-278.

- [4] 杨宇翔, 张亚匡, 吴介达, 等. 硅藻土脱色机理及其在印染废水中的应用的研究[J]. *工业水处理*, 1999, 19(1): 15-17.
- [5] 郑水林, 王庆中. 改性硅藻精土在污水处理中的应用[J]. *非金属矿*, 2000, 23(4): 36-37.
- [6] 蒋小红, 曹达文, 周恭明. 改型硅藻土处理城市污水技术的可行性研究[J]. *上海环境科学*, 2003, 12(22): 983-987.

(上接第310页)

#### 参考文献

- [1] 朱彤, 许振成, 胡康萍, 等. 人工湿地污水处理系统应用研究[J]. *环境学研究*, 1991, 4(5): 17-22.
- [2] 詹德昊, 吴振斌, 张晟, 等. 堵塞对复合垂直流湿地水力特征的影响[J]. *中国给水排水*, 2003, 2(19): 1-4.
- [3] 孙从军, 王敏, 程曦. 硅藻土混凝剂在污染河水处理中的应用研究[J].