科研报告

固定藻去除氨氮的研究*

陈耀璋 张丽明
(上海石油化工总厂环境保护研究所)

氮和磷被认为是水体富营养化的主要因素. 水体中氨氮的耗氧性及其对鱼类等水生生物的毒性影响促使人们开展脱氮的研究[1-3],环境保护管理部门也开始制订和实施地面水质量的总氮总磷参考标准.

氨氮去除可用吹脱、加氯、离子交换、加臭氧、反渗透、电渗析等物化方法,也可利用微生物等生化方法. 湖北水生生物研究所开创悬浮活性藻去除氨氮的研究[4], 取得了可供实用的经验. 在此基础上, 本文提出将固定藻代替悬浮藻以解决氧化塘中藻类流失问题,从而完善这个低能耗处理氨氮的途径.

本试验的最终目的是为了稳定并强化氧化塘的工作性能. 将软性填料置于氧化塘中, 通过天然挂膜方式将藻类固定在软性填料上, 形成的固定藻在自然光条件下以空气及水体中的二氧化碳作碳源、以水体中的氨氮作氮源进行代谢并放出氧气, 在去除氨氮的同时达到本身的增殖. 过量(或老化)的藻类可作为食藻水生生物的食料而去除. 部份脱膜后的藻类沉入(兼性)氧化塘底部厌氧分解为气态物质(CO_2、NH_3、CH_4 等)循环利用或散入大气. 固定藻的浓度稳定 (不会被出水带走),从而可以增加流量,缩短停留时间,达到稳定及强化氧化塘工作性能的目的.

一、试验条件与方法

实验室静态试验使用 180 × 400 毫米玻璃圆缸,动态试验使用 120×240 毫米玻璃圆缸. 玻璃圆缸内按每米^3 1200 束密度置入软性填料(玉环县环保器材厂产品). 动态试验用 WLB-78 型电子泵注入人工配制水或污水厂进氧化塘的废水. 光源采用天然光. pH、溶解氧、光照度及照时分别采用 pH-3 型酸度计、TH-2 型溶氧测定仪、JD 型照度计及 GJL 型暗筒式日照计. COD_{Cr} 及氨氮分析参照第 13 版美国水和废水标准检验法.

二、试验结果及讨论

(一) 静态及动态处理的效果

图 1 及图 2 显示了在初挂膜条件下静态及动态处理的不同效果. 其K值(氨氮去除率、氨氮毫克/升·天)有明显不同,虽然K值还未达最大值, 但可以看出氨氮的去除率与起始浓度有关. 在一定范围内, 氨氮起始浓度大, 去除率也高. 而且当连续进出水时氨氮的去除率明显上升(数倍于静态处理). 因

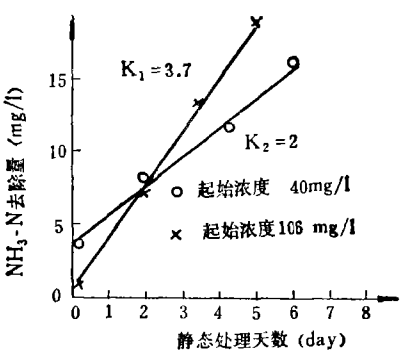

图 1 静态处理效果

* 本文承中国科学院水生生物研究所王德铭、黎尚豪教授审阅,特此致谢.

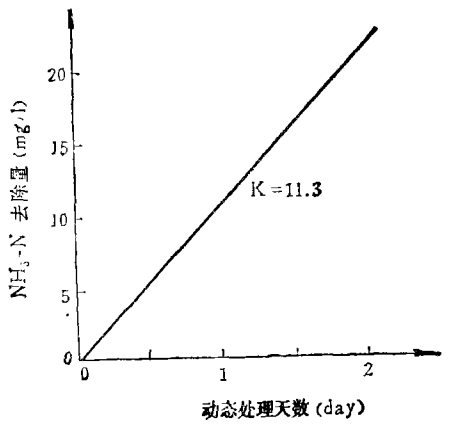

图 2　动态处理效果

此，在保证出水氨氮合格的范围内应使氧化塘处于连续进出水状态，或者适当增加流量，这样可以提高氧化塘的处理能力.

（二）复照效果

McGRIFF 在光暗间隔条件下进行浓集悬浮活性藻去除氨氮的研究[5]，研究中采用人工光源，其光—暗周期为 3—2.4 分钟，氨氮的去除率可达 113 毫克/升·天，但实际上氧化塘不可能按此条件工作. 本试验的复照结果如图 3，表明复照后的氨氮去除率明显提高，约为未经复照时的 10 倍. 因此采用光—暗间隔的复照方法是有效的. 但在自然条件下，复照周期为 24 小时（光—暗间隔约为 13—11 小时），本试验按此条件的试验结果与文献报道比较如表 1 所示. 虽然 McGRIFF 的方法具有很高的氨氮去除率，但由于回流量过大、藻类浓集困难等原因在实际设计中难以采用.

（三）遮光（黑暗条件）对溶解氧及氨氮去除效果的影响

在自然环境中氧化塘总要经过无光照的夜间. 本试验对固定藻进行长时间遮光，然后定时测定其溶解氧及氨氮值. 图 3 显示了固定藻在 1 天以上的长期黑暗条件下基本上没有对氨氮的固定作用. 而在 1 天以内遮光对氨氮的除去率影响较小. 因此，遮光时间应控制在 1 天以内. 在自然条件下，夜间一般不超过 12 小时，因此氧化塘的功能不会受到太大的影响.

在正常情况下，固定藻光合作用放出的氧气有助于水中溶解氧的补充，其溶解氧可以超过饱和值. 但遮光后水体中溶解氧有较明显的下降，图 4 表明在遮光一天后，溶解氧下降到饱和值（约 9 毫克/升），二天后溶解氧为 6.5 毫克/升，5 天后溶解氧下降到 6 毫克/升. 如果遮光时间在一天以内，水体中的溶解氧值可以满足鱼类等水生生物的需要. 因此，固定藻在经历一个夜间所造成的溶解氧下降不会影响鱼类等水生生物的生存.

表 1　试 验 结 果 比 较

项目 / 试验者	进水 NH_3-N (mg/L)	出水 NH_3-N (mg/L)	停留时间 (h)	光—暗间隔	光照强度 (lux)	回流比 (倍数)	出水 pH	出水溶解氧 (mg/L)	氨氮除去速率 (mg/L·d)	活性藻浓度 (mg/L)	耗费	NH_3-N 除去率 (%)
E. C. McGRIFF[1] (浓集悬浮藻)	53	6	10	3—2.4 min	4306	12	8—9	7—9	113	1000—1400	耗电	90
湖北水生所[4] (浓集悬浮藻) (25—30℃)	35	15	13—15	24—0 h	14000—20000	搅拌			36—38	25—50 g/l (湿重)		37—62
本报告 (固定藻) (>20℃)	20—37	0—2	48	13—11 h	平均 4250 (天然光)	0	7—9	8—10	10—17	固定藻生物膜	≒0	95
上海石化总厂污水厂 (悬浮藻)	27.7 36	27.8 34	103	13—11 h	天然光		9—10	4	≒0	微量 (藻类流失)		≒0

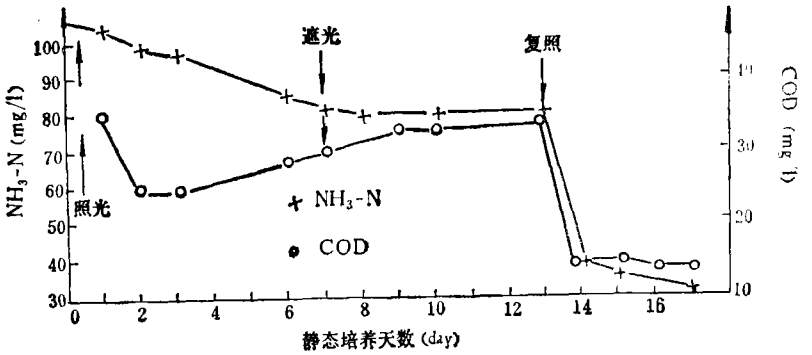

图 3 复照效果

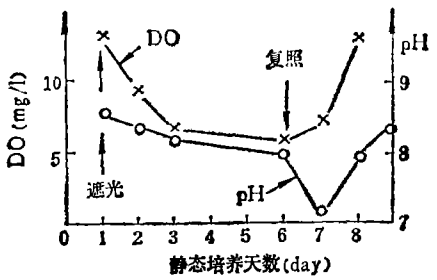

图 4 遮光与复照对 DO 的影响

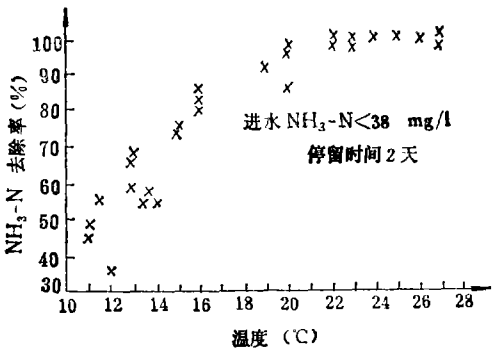

图 5 温度对于 NH_3-N 去除的影响

(四) 温度对于氨氮去除效果的影响

氧化塘要经受四季温度的变化，温度的变化引起固定藻去除氨氮效果的变化. 当温度变化范围在 10—28℃、进水浓度 38 毫克/升以下而停留时间 2 天时，温度与氨氮去除率的关系如图 5 所示. 当温度大于 20℃ 时平均去除率大于 95%，温度为 15—20℃ 时，平均去除率为 82%；温度为 13℃ 时去除率下降到 58%. 因此，固定藻去除氨氮的比较适宜的温度在 15℃ 以上.

(五) 固定藻的生长(挂膜)

固定藻以软性填料为载体[6]. 生物膜的生长与温度、水质等条件有关. 初挂膜时填料上呈浅绿色，完全挂膜时填料上呈深绿色. 除自来水外，其它配制水的完全挂膜时间为 20—30 天. 从表 2 可见应用氧化塘入口废

表 2 固定藻初挂膜天数观察记录表

挂膜用配制水	水质				T℃**	初挂膜天数*						
	pH	NH_3-N (mg/l)	P (mg/l)	COD (mg/l)		1	2	3	4	5	6	7
自来水	7.0	痕迹量	痕迹量	11	10—25	—	—	—	—	—	—	—
氧化塘入口污水	7.2	31.5	0.46	51	10—25	—	—	—	—	∓	+	+
氧化塘入口污口 + KH_2PO_4 + NH_4Cl	7.0	86.1	6.86	46	10—25	—	—	—	—	—	—	∓
自来水 + KH_2PO_4 + NH_4Cl	7.0	120	4.6	31	19—30	—	—	—	—	—	—	∓

* + 号表示初挂膜，∓ 表示微挂膜，— 号表示未挂膜

** 平均每天太阳光照 4.5 小时左右

水在不加任何营养剂的情况下，初挂膜时间约为一星期左右（完全挂膜时间约为三星期以上）。也可对软性填料进行强迫挂膜（亦称嵌膜），其方法是把软性填料置于悬浮藻池内来回拖动，藻类嵌入填料后即成。嵌膜后的固定藻生长附着时间可以缩短。

（六）菌藻膜及养鱼试验

镜检结果表明固定藻上附着的生物膜大部份为蓝绿藻，其中占优势的有：*Anabaena*（鱼腥藻——蓝藻）、*Ulothrix*（丝藻——绿藻）、*Lyngbya*（林氏藻——蓝藻）、*Microspora*（微孢藻——绿藻）、*Nodularia*（节球藻——蓝藻）、*Chlorococoum*（绿球藻——绿藻）、*Chlorella*（小球藻——绿藻）。此外，镜检中发现生物膜上还有大量细菌及线虫等生物。这样的固定藻生物膜实质上是一种菌藻共生膜，这种菌藻膜为更高级的水生生物（如鱼等）提供了食料。图 3 显示了菌藻之间的一种关系。由于遮光使藻类停止产氧，微生物呼吸受抑制，水体 COD 值较高。反之，一旦重复照光后，COD 值急速下降。过量的藻类应当去除，图 6 显示了去除过量藻类的途径，除了藻类自身厌氧分解成气体物质散入空气中外，还可用清除污泥的方法除去藻类。但一种比较经济的方法是利用食藻的鱼类，去除过剩的固定藻，同时获得鱼蛋白。

本试验在固定藻水体中饲养鲫鱼，进水氨氮 20—30 毫克/升，出水氨氮 1.2 毫克/升以下，溶解氧大于 10 毫克/升。在不投加食料情况下至 90 天尚未死亡。

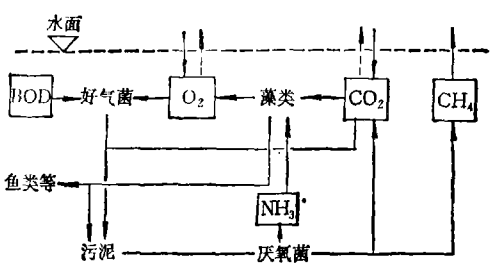

图 6　去除藻类的途径

（七）COD 的去除

当进水 COD_{Cr} 在 47 毫克/升以下时，平均水温 20℃ 以上 COD 去除率为 26%、水温低于 15℃ 时去除率为 22%。COD 的去除率相差不大，其原因是废水中本身可生化性 COD 值已经不多（氧化塘进水 BOD_5 约为 12 毫克/升）。

此外，固定藻也具有去除磷的作用，去除率可达 50—95% 以上。同时经固定藻处理后的出水异臭消失，而略带海水腥味（可能是鱼腥草引起）。

（八）停留时间与氨氮去除率的关系

停留时间与氨氮去除率关系如表 3 所示。由于固定藻不会被出水带走，因此处理氨氮的停留时间可以缩短。但停留时间少于 2 天时去除率逐渐下降。为了保证出水氨氮指标的合格，停留时间以 2 天为宜。

表 3　停留时间与 NH_3-N 去除率

NH_3-N 去除率(%) 温度(℃) / 停留天数 (d)	<15	15—20	>20
1	27	33	62
1.4	35	57	—
2	58	82	>95

（九）氧化塘中使用固定藻技术的可行性探讨

1. 停留时间

上海石油化工总厂污水厂现有氧化塘（包括曝气塘与静止塘）的总容积为 20 万立方米，以日处理量 5 万立方米计，停留时间为 4 天（随水量而变）。而固定藻处理法所需停留时间为 2 天，因此具有足够的停留时间。

2. 水温

水温是影响固定藻处理效果的一个重要因素。由于工业水带来的热量，本厂氧化塘的进水温度如表 4 所示。现场实测数据表明氧化塘水温降为 1℃/天。因此，除个别月份

表 4　温度统计表

月份	1980 年		1981 年	
	平均进水温度(℃)	平均大气温度(℃)	平均进水温度(℃)	平均大气温度(℃)
一	14.2	4.2	15.9	2.2
二	13.2	3.2	18.3	5.2
三	17.9	7.4	21.0	10.0
四	20.6	12.8	24.2	14.5
五	23.5	18.4	27.8	19.3
六	28.9	24.4	31.0	23.8
七	32.8	27.4	34.6	28.4
八	30.2	25.0	34.6	27.8
九	28.6	21.8	29.0	21.8
十	26.9	18.1	25.6	19.7
十一	24.4	14.2	21.4	10.5
十二	19.4	5.3	18.6	4.7

外，氧化塘的水温可达 15℃ 以上．在该温度条件下，固定藻去除氨氮百分率可达 82% 以上．

据统计，我厂现有的氧化塘平均进水浓度为 27.7 毫克/升（1981 年）、36 毫克/升（1983年）．如果停留时间以 2 天计，按固定藻试验结果推断的氧化塘出水氨氮值如表 5 所示．由于实际水温大于 15℃，因此，废水经由置有固定藻的氧化塘后的出水氨氮可能降到 10 毫克/升以下．

表 5　出水指标估算

进水氨氮 (mg/l)	T℃	去除率%	出水氨氮 (mg/l)
27.7	>20	>95	<1.4
	15—20	82	5.0
	<15	58	11.6
36.0	>20	>95	<1.8
	15—20	82	6.5
	<15	58	15.1

三、结　束　语

本报告提出用固定藻代替悬浮藻来强化氧化塘去除氨氮的能力，缩短停留时间，从而更好地发挥了氧化塘的简便、低耗费的优点．研究结果指出，固定藻法可使现有氧化塘的氨氮去除率（几乎为 0）提高到 82%（15—20℃）或 95% 以上（>20℃），而且停留时间缩短到 2 天．

无论物化法及生化法（如微生物硝化、反硝化等）处理费用都比藻类法高得多．而固定藻法因不需藻类回流接种、分离收集等工艺，所以处理费用几乎为零．因此，这是个值得进一步探讨的课题，其中包括对优势藻（或优势菌藻系统）及食藻鱼类等的研究．

参　考　文　献

[1] Europan Inland Fisheries Advisory Commission, *Water Research*, 7, 1011 (1973).

[2] G. R. Thomas, *Journal WPCF*, **44**(10), 1895 (1972).

[3] 吉田高年う，水处理技术，**21**(5)，1(1980)．

[4] 湖北水生生物研究所，环境保护生物监测与治理资料汇编，169—176 页，科学出版社，1978．

[5] McGRIFF, E. C. and R. E. McKINNEY, *Water Research*, **6**, 1155 (1972).

[6] 陈耀璋等，生物接触氧化法中软性填料的研究，环境工程，1，10(1982)．