

# 河流湖泊水体生物-生态修复技术述评

朱 亮<sup>1</sup>, 苗伟红<sup>1</sup>, 严 莹<sup>2</sup>

(1. 河海大学环境科学与工程学院, 江苏 南京 210098 2. 江苏广播电视大学建筑工程学院, 江苏 南京 210017)

**摘要:**从脱氮除磷及去除藻类两方面介绍了国内外生物-生态修复技术,分析了水体生物-生态修复技术的优缺点.分析表明:与磷资源回收利用相结合的脱氮除磷技术,具有工程造价低、耗能少、处理效果好且能实现资源回收利用等特点,超声波除藻技术及生物除藻技术,能有效地去除藻类且不会产生二次污染.

**关键词:**湖泊;生物-生态修复;有益微生物

**中图分类号:** X171.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-198X(2005)01-0059-04

随着城市化和工业化进程的不断加快,水体的功能和作用不断被弱化,尤其是城市缓流水体,由于受城市发展的影响较大,水体流动性小,自净能力弱,破坏更为严重.据近年来全国水域的水环境质量调查统计,在流经全国 42 个大中城市的 44 条河流中,有 93% 的河段被污染,其中严重污染和中度污染的河段占 79%, 64% 的城市河段为 IV 类或 V 类水质, 50% 的重点水源地不符合饮用水标准<sup>[1]</sup>.湖泊的水质也普遍较差, 75% 以上的湖泊富营养化加剧,许多湖泊已达不到 III 类水水质标准,部分湖泊甚至成为纳污水体.

脱氮除磷及去除藻类是河流湖泊水体恢复与保护的难题,目前国际上采用的技术主要有 3 类:(a)化学方法.如加入化学药剂杀藻、加入铁盐促进磷的沉淀、加入石灰脱氮等,但是易造成二次污染.(b)物理方法.疏挖底泥、机械除藻、引水冲淤等,但往往治标不治本.(c)生物-生态方法.

水体的生物-生态修复技术,通过强化自然界自身的自净能力和物质循环规律去治理被污染水体,是实现人与自然和谐相处的治污途径<sup>[2]</sup>.该技术是一项清洁环境的低投资、高效益、便于运行、发展潜力较大的技术.许多发达国家如日本、美国等已用于工程实践.本文主要从脱氮除磷和除藻两方面对国内外生物-生态修复技术进行述评.

## 1 脱氮除磷技术

一般来说,当天然水体中总磷浓度大于 0.02 mg/L、无机氮浓度大于 0.3 mg/L 时,就可认为水体处于富营养化状态<sup>[3]</sup>.富营养化水体中的氮、磷促使水中的藻类急剧生长,大量藻类的生长消耗了水中的氧,使鱼类、浮游生物因缺氧而死亡,从而它们腐烂的尸体使水质受到污染<sup>[4]</sup>.因此,去除水体中大量的氮、磷,特别是磷,是治理富营养化污水的根本.这是因为尽管氮、磷同为生物的重要营养物质,但藻类等水生生物对磷更为敏感,当水体中磷的浓度较低时,即使氮的浓度能满足藻类等水生生物的需要,其生产能力也会大受遏制<sup>[5]</sup>.

### 1.1 日本小型合并污水处理净化槽技术

该处理装置为应用物理和生物过程对生活污水进行净化处理的设备.合并处理净化槽可处理粪便污水、厨房和浴室污水(即生活污水),故又叫“家庭污水处理净化槽”<sup>[6,7]</sup>.

合并处理净化槽是一种一体化设备,其 7 个工艺步骤在 1 个槽内完成,各步骤之间用隔板隔开,工艺流程如图 1 所示.

该装置采用了好氧反应出水循环到厌氧反应的工艺,因此有较好的脱氮效率.从该装置的说明书来看,出水 TN 浓度在 20 mg/L 以下.但根据生物处理工艺理论,好氧反应出水中的硝态氮应在缺氧的情况下被还原为氮气释放,而达到氮的去除,至于该装置中的厌氧反应室是否处于缺氧状态,还有待进一步研究.此外,

该净化槽也有较好的除磷效果.该净化槽因在好氧池及厌氧池内填充了大量的填料,微生物大部分都固着在填料上,微生物在反应槽内部进行循环,得到一定程度的硝化,不能硝化而需排出反应槽的污泥很少,因此,无需专门设置污泥处理槽,只要待老化污泥在设备内累积到一定量后,定期用抽泥装置将污泥抽出外运处置即可.该装置净化功能和效率较好,并能节省能耗,便于管理操作<sup>[7]</sup>.

### 1.2 电化学净化技术

与传统的化学方法不同,电化学净化系统不需投加试剂.其流程如图2所示.

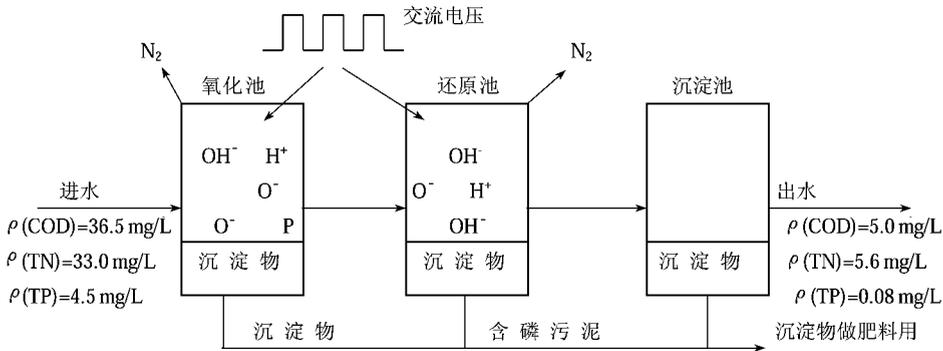


图2 电化学净化系统

Fig.2 Electrochemical purification system

在该系统中,废水通过格栅后在氧化池中经历约15 min的絮凝时间,再经还原池后进入沉淀池进行固液分离.氧化池施加低电压后主要产生活性羟基,还原池施以高压脉冲波后产生氢氧基.这一系统的测试实验表明:处理生活污水时,TN,TP和COD的去除率分别为83%,97%和86%,处理含藻的湖泊水时,去除率分别为84%,94%和92%.该系统处理费用约为传统化学法的1/3<sup>①</sup>.

### 1.3 无循环土渠净化技术

土渠式污水土地处理技术也称尼米(NiMi)系统,是利用土壤毛细管浸润扩散原理研制成功的一种浅型土壤处理系统<sup>[8]</sup>.无循环土渠污水土地处理技术工艺流程如图3所示.

该系统是利用土壤毛细的作用,土壤的吸附、过滤、沉淀作用,土壤的降解作用以及土壤中生长的生物摄取作用净化污水的<sup>[9]</sup>.该净化系统具有耗能少、处理效果好的优点.验证试验发现,3套连接在一起的厌氧滤床和土渠,在没有循环及动力输入的情况下,BOD,TN,TP的出水浓度分别为10 mg/L,10 mg/L,0.5 mg/L,且出水被分成3份并以5:3:2的比例分别回流到一级、二级、三级厌氧滤床中.由于该系统占地面积较大,因此较适用于土地资源丰富的地区<sup>①</sup>.

### 1.4 水体养殖生物公园净化技术

大部分水生高等植物都有发达的根系,能吸收大量水体污染物,同时也寄居着众多的异氧微生物.水生植物为根系微生物创造了良好的栖息场所并提供了丰富的营养物质,而根系微生物在功能上的协同效应加速了水体中污染物的净化.故在富营养化湖泊河流治理中,选择在本地区适应性较好的现有或原有水生植物,对氮、磷等营养性污染物具有较强去除能力的物种,以及具有用途广或经济价值高的生物物种,是恢复水体功能、维持生态平衡的重要技术手段<sup>[10]</sup>.我国也曾开展过利用水生植物净化水体的试验研究<sup>[11]</sup>,但在资源恢复和循环上存在许多不足.日本开发了一种可食用的水生植物净化系统——水生植物养殖公园,即通过

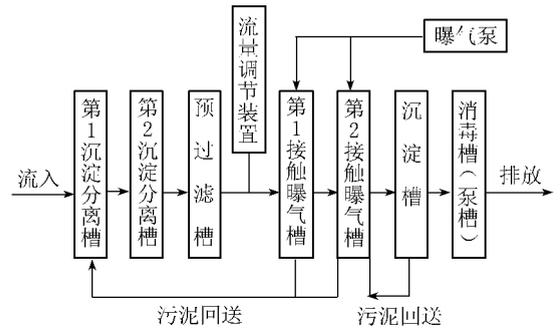


图1 合并处理净化槽的工艺流程

Fig.1 Flow chart of united-treatment of purifying groove

生活污水:  
 $\rho(\text{BOD})=220 \text{ mg/L}$ ,  $\rho(\text{COD})=150 \text{ mg/L}$   
 $\rho(\text{SS})=370 \text{ mg/L}$ ,  $\rho(\text{TN})=50 \text{ mg/L}$   
 负荷:  $1 \text{ m}^3/\text{d}$

土壤成分:  
 红土: 70%~80%  
 木屑: 20%~30%



图3 无循环厌氧/好氧土壤处理系统流程

Fig.3 Flow for non-circulating anaerobic/aerobic soil treatment system

① Improvement of lake water quality using bio-eco engineering system. The Science and Technology Promotion Foundation of IBARAKI, 2003. 2.

种植可食用的水生植物净化水体,同时还在植物的根系地带养殖了淡水蚌,淡水蚌可以捕食水中的悬浮物,增强水体的透明度,并具有较高的食用价值.此外,该系统净化能力很高,几乎是芦苇的 10 倍.目前,这一系统在我国的应用尚处于试验阶段.

### 1.5 磷资源回收技术

传统的除磷技术主要包括物理化学除磷技术和生物代谢除磷技术.前者通过向水体中投加阳离子絮凝剂形成磷的沉淀物,再经过固液分离将磷从污水中去除;后者利用活性污泥的超量磷吸收现象来去除污水中的磷.以上两种方法都有较好的除磷效果,但不利于磷资源的回收利用<sup>[12]</sup>.基于这一点,日本开发了如下两套物理化学除磷工艺<sup>①</sup>:

a. 铁电解除磷工艺(图 4).铸铁为铁-碳合金,碳以碳化铁( $Fe_2C_3$ )颗粒形式分散在铁中.当铁屑浸入水中时,便构成无数个 Fe-C 微原电池.纯铁为阳极,碳化铁为阴极,发生如下电极反应:



该反应在酸性溶液中易进行.阴极反应所产生的新生态氢与废水中许多物质发生还原反应,破坏水中污染物原有结构,使污染物易被吸附或絮凝沉淀;阳极铁被氧化成  $Fe^{2+}$ (有氧条件下生成  $Fe^{3+}$ ),在碱性条件下生成  $Fe(OH)_2$  和  $Fe(OH)_3$  絮状沉淀.该絮状沉淀比  $Fe(OH)_2$  和  $Fe(OH)_3$  沉淀物具有更强的吸附性能,能达到更好的除磷效果<sup>[13,14]</sup>.其中沉淀物与剩余污泥一起被排出.由于其中含有大量的磷,因而还可制成农用复合肥.该项技术有如下优点:(a)出水水质达到  $\rho(BOD) \leq 10 \text{ mg/L}$ ,  $\rho(TN) \leq 10 \text{ mg/L}$ ,  $\rho(TP) \leq 0.5 \text{ mg/L}$ ;(b)铁电极上析出的铁离子加速了活性污泥的絮凝,提高了固液分离性.

b. 磷吸收载体除磷工艺.虽然磷能导致水体富营养化,但它也是工业、农业生产的一种必需的资源.磷和石油一样,属于不可回收的有限资源.日本没有磷矿源,其磷完全依靠进口.为此,日本建立了一种循环利用磷资源的系统,如图 5 所示.

该系统中的磷回收装置用直径为 0.7 mm 的球形填料填充到柱状反应器中,反应器放置到合并处理净化槽的后面以吸收污水中的磷.每隔 3 个月将磷吸收装置送到磷回收站,将填料浸入到 7% 的氢氧化钠溶液中以脱去磷,填料可以重新利用.这种方法处理效果显著且实现了磷资源的回收利用.

## 2 除藻技术

传统的藻类去除方法主要为物理法和化学法.物理方法对环境影响较小,但去除率较低.化学方法可以有效地抑制和杀灭藻类,但投加药剂可能会给水体带来负面影响<sup>[15]</sup>.于是,近年来又发展了以下几种除藻技术.

### 2.1 超声波蓝绿藻去除技术

超声波除藻系统利用超声波辐射破坏藻类的液胞,从而使它们沉入湖底而被细菌分解.该系统适用于发生水华或富营养化的中小型湖泊.我国已利用了该项技术.例如,在北京什刹海生态修复试验中就利用了臭氧/超声波除藻技术.试验证明,该项技术具有明显的除藻效果<sup>[16]</sup>.此外还有利用密度流分解技术去除藻类的系统.这种系统能使底泥处于好氧状态,可阻止微囊藻吸取养料,促进水中悬浮物的好氧分解.

### 2.2 利用有益微生物去除丝状蓝绿藻技术

丝状蓝绿藻不但会增加湖水的 COD 值及浊度,还能产生一种降低絮凝效果的物质,从而会阻碍固液分离的实现.为此,日本研发了一种生物过滤器.这种生物过滤器内部填充了大量的有益微生物,当污水流经该过滤器时有益微生物能捕食和分解丝状蓝绿藻,从而可达到净化水质的目的.由于这一系统的成本及能耗都

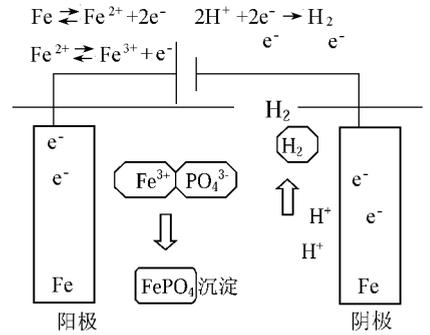


图 4 铁电解法原理

Fig.4 Principle of iron electrolysis method

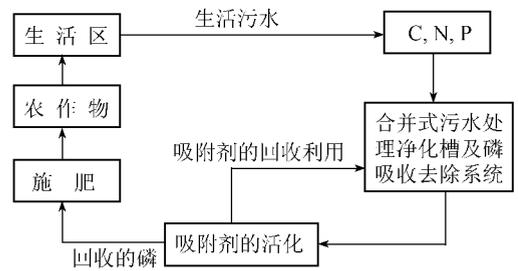


图 5 磷资源循环利用系统

Fig.5 Sketch of a phosphorus resource recovery system

① Improvement of lake water quality using bio-eco engineering system. The Science and Technology Promotion Foundation of IBARAKI, 2003. 2.

较低,故较适用于发展中国家.我国也有相关研究,李雪梅等<sup>[17]</sup>将EM应用于中国科学院华南植物园人工湖内后,水表面和水面以下0.5 m水体中的叶绿素a含量、总氮、总磷和高锰酸盐指数下降,水中的溶解氧含量和水体的透明度上升.

### 2.3 利用病毒控制藻类生长的技术

目前已有人分离出侵噬蓝藻的病毒(称为蓝藻噬菌体).实验证明,蓝藻接种该病毒后,藻体数量明显降低,藻类生长受到控制.利用噬菌体防止和消除冷却水系统生物黏泥,是一种颇具前途的生物学方法.研究表明<sup>[18]</sup>,该方法对于防止海水冷却水系统及造纸工业水系统生物黏泥的形成十分有效.但此法尚未走出实验室,需解决对循环水中的细菌或藻类敏感的噬菌体及循环水流速、温度对噬菌体影响的问题.

## 3 结 语

生物-生态修复技术包括脱氮除磷和去除藻类两种技术.在脱氮除磷方面,国内外先进的技术主要有日本小型合并污水处理净化槽技术、电化学净化技术、无循环土渠净化技术、水体养殖生物公园净化技术和磷资源回收技术,这些技术实现了从氮、磷的处理向资源回收利用方向的发展;在除藻方面,国内外先进的技术主要包括超声波蓝绿藻去除技术、利用微生物去除丝状蓝绿藻技术和利用病毒控制藻类生长的技术,这些技术克服了传统的物理化学处理方法的缺点,为发展新的除藻工艺提供了新的研究方向.

### 参考文献:

- [1] 许木启, 黄玉瑶. 受损水域生态系统恢复与重建的研究[J]. 生态学报, 1998, 18(5): 547—558.
- [2] 董哲仁, 刘倩, 曾向辉. 受污染水体的生物-生态修复技术[J]. 水利水电技术, 2002, 33(2): 1—4.
- [3] 唐森本, 王欢畅, 葛碧洲, 等. 环境有机污染化学[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1995: 21.
- [4] 刘鸿志, 任隆江, 胡明. 我国湖泊的限、禁磷现状及对策[J]. 环境保护, 1998(8): 27—28.
- [5] 邵林广, 游映玖, 陶惠芳, 等. 控磷除磷在水体富营养化控制中的作用[J]. 环境与开发, 1999, 14(2): 19—20.
- [6] 闵毅梅. 日本净化槽技术在中国的推广前景[J]. 污染防治技术, 2003, 16(4): 74—76.
- [7] 康缙. 日本小型合并处理净化槽的性能初探[J]. 贵州环保科技, 2002, 8(3): 26—31.
- [8] 史莉, 张笑一, 刘春丽, 等. 地沟式污水土地处理+人工湿地中植物对磷的去除效果[J]. 生态环境, 2003, 13(3): 289—291.
- [9] 杨星宇, 彭润芝. 地沟式土地处理技术净化污水的机理及其应用——以贵州省为例[J]. 贵州师范大学学报(自然科学版), 2002, 20(3): 65—68.
- [10] 许秋瑾, 李欣瑞, 苏东波. 城市中小型湖泊河道生态治理的探讨[J]. 自然环境保护, 2001(6): 19—20.
- [11] 王庆安, 任勇, 钱骏, 等. 成都市活水公园人工湿地塘床系统的生物群落[J]. 重庆环境科学, 2001, 23(2): 52—55.
- [12] 顾小红, 黄种买, 虞启义. 污水除磷技术的现状及发展趋势[J]. 再生资源研究, 2002(3): 33—35.
- [13] 赵永才. 微电解法脱除水溶性染料废水色度的研究[J]. 环境污染与防治, 1994, 16(1): 18—21.
- [14] 吴海锁. 微电解工艺在染料废水治理中的应用[J]. 环境导报, 1999(2): 18—20.
- [15] 邓义敏. 藻类对供水的影响及去除方法[J]. 中国给水排水, 2001, 17(7): 5—8.
- [16] 屠清瑛, 章永泰, 杨贤智. 北京什刹海生态修复试验工程[J]. 湖泊科学, 2004, 16(1): 61—67.
- [17] 李雪梅, 杨中艺. 有效微生物群控制富营养化湖泊蓝藻的效应[J]. 中山大学学报(自然科学版), 2000, 39(1): 81—85.
- [18] 酃和生. 循环冷却水杀生技术的进展[J]. 工业水处理, 1996, 16(1): 11—13.

## Comments on biologic-ecological rehabilitation techniques for rivers and lakes

ZHU Liang<sup>1</sup>, MIAO Wei-hong<sup>1</sup>, YAN Ying<sup>2</sup>

(1. College of Environmental Science and Engineering, Hohai Univ., Nanjing 210098, China;

2. College of Construction Engineering, Jiangsu Broadcast and Television University, Nanjing 210017, China)

**Abstract:** A review was made of the biologic-ecologic rehabilitation techniques at home and abroad from the aspects of nitrogen and phosphor removal and algae removal. Analysis shows that the nitrogen and phosphor removal technique, combined with the phosphor resource recovery and utilization, has the characteristics of low cost, low energy consumption, and good effect of treatment, and can realize the recovery and utilization of resources, and that the ultrasonic and biologic algae removal techniques can effectively remove algae without resulting in secondary pollution.

**Key words:** lake; biologic-ecologic rehabilitation; beneficial microorganism